

**CARACTERIZACION DEL DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE LA PLATAFORMA
INTERIOR DEL AEROPUERTO EL DORADO**

MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA

JIMMY SEBASTIAN FANDIÑO PIAMONTE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2017

**CARACTERIZACION DEL DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS DE LA PLATAFORMA
INTERIOR DEL AEROPUERTO EL DORADO**

MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA

JIMMY SEBASTIAN FANDIÑO PIAMONTE

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO

INGENIERO CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2017



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

"Las ideas emitidas por los autores

son de su exclusiva responsabilidad

y no expresan necesariamente

opiniones del director

del trabajo de grado

o de la Universidad"

Dedicatoria

A Dios por darme la vida y día a día la fuerza que necesito para salir adelante, por hacer de mi vida maravillosa y permitirme compartir tantos momentos con las personas que más quiero.

A mis amores, Angela Avila y Arya por su compañía y esfuerzo, por llenarme de alegrías y hacer de mis días una motivación más para seguir adelante.

A mis padres, Gladys Piamonte y Jaime Fandiño por enseñarme tantos valores, por su apoyo incondicional, por sus consejos, por su amor, y ante todas las adversidades siempre perseverar para salir adelante.

A mis hermanos Valentina, Lorena, Hans. Por ser tan especiales y llenar mi vida de alegría, por su apoyo en cada dificultad.

Al Ingeniero Darío Naranjo, jefe, Maestro y amigo, por su dedicación y esfuerzo y a quien de muchas maneras atribuyo este gran logro.

Sebastián Fandiño Piamonte

Dedicatoria

Por la simpleza de la vida, que, aunque parezca complicada Dios la hace más llevadera.

Por la inspiración y apoyo de mi familia, amigos, maestros y compañeros que en diferentes momentos de la vida se encargan de llenar de experiencias este viaje.

Por aquellas situaciones difíciles y personas que a través de cada paso me han motivado a escapar de la zona de confort y aprender un poco más sobre lo que no conozco.

Por los retos que me motivan a dar más, por todo lo que falta por aprender y porque Dios me permite seguir intentando.

Miguel Ángel Bedoya Paniagua

Agradecimientos

A Dios como principal instancia por ser la razón y fundamento de mí vida, a mis familiares por el apoyo que siempre me han otorgado, al Ingeniero Jorge Valero por su compromiso con la formación y su colaboración en la parte técnica del presente trabajo, al Ingeniero Cesar Quintana por sus orientaciones.

Sebastián Fandiño Piamonte

A todas aquellas personas y situaciones que me han mostrado de una u otra forma que Dios permanece en cada etapa de la vida, a mi familia por estar unida y brindarme su apoyo siempre, a las personas que me han apoyado y las que me han impulsado a dar más, a mis compañeros y amigos por hacer de esta experiencia más enriquecedora, al profesor Jorge Valero por su apoyo, paciencia y enseñanzas profesionales y de vida.

Miguel Ángel Bedoya Paniagua

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	17
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1 Antecedentes del problema.....	17
1.2.2 Pregunta de investigación	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 OBJETIVOS.....	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
2 MARCOS DE REFERENCIA	20
2.1 MARCO CONCEPTUAL	20
2.2 MARCO TEÓRICO	22
2.3 MARCO GEOGRÁFICO.....	24
3 METODOLOGÍA.....	25
3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO	25
3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	26
3.2.1 Métodos aplicados durante el desarrollo del trabajo.....	26
3.2.2 Método racional:.....	26
4 DESCRIPCION DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL	28
4.1 SEGMENTOS DE RED CON INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA CONFIABLE	31
4.1.1 Segmentos de la red que drenan al sumidero AAA.....	32
4.1.1 Segmentos de la red que drenan al sumidero BBB.....	33
5 ANALISIS DE LA TORMENTA REGISTRADA EL DÍA 20 DE ABRIL DE 2017	34
5.1 ESTIMACIÓN DE LA TORMENTA OCURRIDA SOBRE LA PLATAFORMA INTERIOR DEL AEROPUERTO EL DORADO.....	36
6 ESTIMACION DE CAUDALES DE DISEÑO	39

6.1	CURVA DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA:	39
6.1.1	<i>Duración de la tormenta de diseño</i>	40
6.2	CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO PARA LOS TRAMOS DE LOS SEGMENTOS DE LA REDES	42
7	MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED	44
7.1	MODELACION DE LOS SEGMENTOS DE RED VIA HOJA DE CÁLCULO.....	44
7.1.1	<i>Insumos utilizados para la comprobación de diseño</i>	44
7.1.2	<i>Parámetros calculados de acuerdo con el tipo de estructura.</i>	47
7.1.2.1	Tuberías.	47
7.1.2.2	Cárcamos y Box Culverts.	48
7.1.3	<i>Resultados de la modelación de los segmentos de red, vía hoja de cálculo.</i>	49
7.2	MODELACIÓN DE LOS SEGMENTOS DE RED VIA EPA-SWMM	51
7.2.1	<i>Insumos para la modelación</i>	51
7.2.2	<i>Modelación de los segmentos de red.</i>	52
7.2.3	<i>Segmentos de red que drenan al Sumidero AAA.</i>	52
7.2.3.1	Segmento A que drena al sumidero AAA.....	52
7.2.3.2	Segmento B que drena al sumidero AAA.....	54
7.2.4	<i>Segmentos de red que drenan al sumidero BBB</i>	56
7.2.4.1	Segmento A que drena al sumidero BBB	56
7.2.4.2	Segmento B que drena al sumidero BBB.....	58
7.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	60
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
9	BIBLIOGRAFÍA	63
10	APENDICES.....	67
	APÉNDICE A: RESUMEN DE PARÁMETROS PARA LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO DE LOS TRAMOS CON INFORMACIÓN COMPLETA.	67
	APÉNDICE B: PROPIEDADES DE LOS TRAMOS, PARÁMETROS Y TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN ESTIMADOS PARA LOS SEGMENTOS DE RED.	69
	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. BALANCE HÍDRICO EN UNA CUENCA EN ETAPA DE PRE URBANIZACIÓN Y URBANIZACIÓN. FUENTE: (TUCCI, 2007)	22
FIGURA 2-2. HIDROGRAMA UNITARIO HIPOTÉTICO PARA UN ÁREA URBANA. FUENTE: (LEOPOLD, 1968).....	23
FIGURA 4-1. INFORMACIÓN DE ENTRADA PARA EL MODELO EPA-SWMM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	30
FIGURA 5-1. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CERCANAS AL AEROPUERTO EL DORADO. FUENTE: GEOVISOR IDIGER.	34
FIGURA 5-2. TORMENTA DEL 20 DE ABRIL DE 2017 EN LAS ESTACIONES CERCANAS AL AEROPUERTO EL DORADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN SERIES CLIMÁTICAS DEL IDIGER.	35
FIGURA 5-3. VALORES INTERPOLADOS PARA LA TORMENTA DEL 20 DE ABRIL DE 2017. ESTACIÓN AEROPUERTO EL DORADO.	38
FIGURA 6-1. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN. FUENTE: ADAPTADO DE: (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, 2000)	41
FIGURA 7-1. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN CANAL CIRCULAR. FUENTE: ADAPTADO DE (CHOW V. , 1994)	47
FIGURA 7-2. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN CANAL RECTANGULAR. FUENTE: ADAPTADO DE: (CHOW V. , 1994)	48
FIGURA 7-3. CAUDALES TRANSPORTADOS POR CADA TRAMO PARA EL SEGMENTO A QUE DRENA AL SUMIDERO AAA. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM.	53
FIGURA 7-4. NIVELES MÁXIMOS DEL AGUA PARA EL SEGMENTO A QUE DRENA AL SUMIDERO AAA. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM.....	54
FIGURA 7-5. CAUDALES TRANSPORTADOS POR CADA TRAMO PARA EL SEGMENTO B QUE DRENA AL SUMIDERO AAA. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM.	55
FIGURA 7-6. NIVELES MÁXIMOS DEL AGUA PARA EL SEGMENTO B QUE DRENA AL SUMIDERO AAA. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM.....	56
FIGURA 7-7. CAUDALES TRANSPORTADOS POR CADA TRAMO PARA EL SEGMENTO A QUE DRENA AL SUMIDERO BBB. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM	57
FIGURA 7-8. NIVELES MÁXIMOS DEL AGUA PARA EL SEGMENTO A –QUE DRENA AL SUMIDERO BBB. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM.....	58
FIGURA 7-9. CAUDALES TRANSPORTADOS POR CADA TRAMO PARA EL SEGMENTO B QUE DRENA AL SUMIDERO BBB. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM.	59
FIGURA 7-10. NIVELES MÁXIMOS DEL AGUA PARA EL SEGMENTO B –QUE DRENA AL SUMIDERO BBB. FUENTE: RESULTADOS DEL PROGRAMA EPA-SWMM	59

LISTA DE TABLAS

TABLA 5-1. FACTORES DE PONDERACIÓN PARA LA INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO IDW DE LA TORMENTA DEL 20 DE ABRIL EN EL AEROPUERTO EL DORADO. FUENTE: AUTORES.	37
TABLA 6-1. COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN IDF PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS. FUENTE: EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.	39
TABLA 6-2. CAUDALES MÁXIMOS DE LOS TRAMOS DE LAS REDES CON INFORMACIÓN COMPLETA HASTA EL SUMIDERO AAA.	42
TABLA 6-3. CAUDALES MÁXIMOS DE LOS TRAMOS DE LAS REDES CON INFORMACIÓN COMPLETA HASTA EL SUMIDERO BBB.	43
TABLA 7-1. INSUMOS UTILIZADOS PARA LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INFORMACIÓN DE LA EAAB, LINEAMIENTOS DEL RAS E INFORMES Y PLANOS SUMINISTRADOS POR OPAIN S.A.	46
TABLA 7-2. PARÁMETROS CALCULADOS PARA LAS TUBERÍAS EN LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN (CHOW V. , 1994).	48
TABLA 7-3. PARÁMETROS CALCULADOS PARA LOS CÁRCAMOS Y BOX CULVERTS EN LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN (CHOW V. , 1994).	49
TABLA 7-6. COMPARACIÓN DE LA IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS CON PROBLEMAS DE PRESURIZACIÓN A PARTIR DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL SWMMM Y LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO PARA EL SECTOR AAA.....	60
TABLA 7-7. COMPARACIÓN DE LA IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS CON PROBLEMAS DE PRESURIZACIÓN A PARTIR DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL SWMMM Y LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO PARA EL SECTOR BBB.	60
TABLA 10-1. PARÁMETROS CALCULADOS EN LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO PARA LOS TRAMOS DE LAS REDES CON INFORMACIÓN COMPLETA QUE DRENAN HASTA EL SUMIDERO AAA. FUENTE: CÁLCULOS PROPIOS.....	68
TABLA 10-2. PARÁMETROS CALCULADOS EN LA COMPROBACIÓN DE DISEÑO PARA LOS TRAMOS DE LAS REDES CON INFORMACIÓN COMPLETA QUE DRENAN HASTA EL SUMIDERO BBB. FUENTE: CÁLCULOS PROPIOS.	68
TABLA 10-3. PROPIEDADES DE LOS TRAMOS, PARÁMETROS CALCULADOS Y TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DEL SECTOR BBB. FUENTE: CÁLCULOS PROPIOS.	70
TABLA 10-4. PROPIEDADES DE LOS TRAMOS, PARÁMETROS CALCULADOS Y TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DEL SECTOR BBB. FUENTE: CÁLCULOS PROPIOS.	72

LISTA DE MAPAS

MAPA 2-3. UBICACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO. FUENTE: AUTORES.....	24
MAPA 4-1. UBICACIÓN GENERAL PLATAFORMA INTERIOR Y ÁREAS AFERENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INFORMACIÓN DE OPAIN SOBRE REDES DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE LA PLATAFORMA INTERIOR DEL AEROPUERTO EL DORADO.	28
MAPA 4-2. DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBREDES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DEL AEROPUERTO EL DORADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE A LOS PLANOS SUMINISTRADOS POR OPAIN S.A.	29
MAPA 4-4. SEGMENTOS CON INFORMACIÓN COMPLETA QUE DRENAN HASTA EL SUMIDERO AAA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CONFORME A LOS PLANOS DE OPAIN.....	32
MAPA 4-5. SEGMENTOS CON INFORMACIÓN COMPLETA QUE DRENAN HASTA EL SUMIDERO BBB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CONFORME A LOS PLANOS DE OPAIN.....	33
MAPA 5-3. CENTROIDE DE LA CUENCA URBANA Y ESTACIONES DEL IDIGER ANALIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INFORMACIÓN DEL IDIGER SOBRE UBICACIÓN DE ESTACIONES.....	37

RESUMEN

El presente trabajo contempla la caracterización de la red del sistema de Alcantarillado Pluvial de la Plataforma Interior del Aeropuerto El Dorado de la Ciudad de Bogotá, Colombia, en términos del desempeño y la capacidad del mismo, para hacer frente a las precipitaciones y evitar inundaciones por fenómenos de presurización, conforme a los criterios de diseño hidráulico de la red.

Con base en lo anterior, se presenta una revisión de la red del sistema de alcantarillado a partir de la descripción de su comportamiento hidráulico, teniendo en cuenta que se han presentado problemas de inundaciones en anteriores ocasiones, las cuales han representado diversas afectaciones en materia de seguridad, sobrecostos, entre otros problemas. Precisamente, durante el evento de precipitación ocurrido el pasado 20 de abril de 2017, se presentó inundación en la plataforma interior lo cual afectó la prestación del servicio de transporte aéreo interrumpiendo su normal funcionamiento.

En este sentido, a partir de la identificación de las condiciones de la red en términos de diseño hidráulico se reconocieron algunas razones que posiblemente puedan ser detonantes frente a fenómenos de inundación. De esta manera, se establecen criterios de diseño hidráulico para el área de estudio, así como la revisión de puntos críticos que permitan definir eventualmente alertas tempranas como medidas de preparación ante fenómenos extremos de precipitación.

Frente a los resultados, en términos generales y conforme a una simulación realizada con el software SWMM y una comprobación de diseño realizada a partir de una hoja de cálculo; se identifican algunos problemas de funcionamiento relacionados con cambios en la topología de las redes existentes por el acople de las nuevas obras de drenaje.

Palabras clave: Alcantarillado, Aeropuerto, Aguas lluvias, Modelación.

ABSTRACT

The present work contemplates a characterization of the network of the Pluvial Sewer System of the Interior Platform of the El Dorado Airport of the City of Bogotá, Colombia, in terms of its performance and capacity, to cope with rainfall and prevent flooding by pressurization phenomena, according to the hydraulic design criteria of the network.

Based on the above, a review of the sewage system network is presented based on the description of its hydraulic behavior, taking into account that there have been problems of flooding in previous occasions, which have represented various effects in terms of security, cost overruns, among other problems. Precisely, during the precipitation event occurred on April 20, 2017, flooding occurred in the interior platform which affected the provision of air transport service interrupting its normal operation.

In this sense, from the identification of the conditions of the network in terms of hydraulic design, some reasons that could possibly be triggers against flood phenomena were recognized. In this way, hydraulic design criteria are established for the study area, as well as the review of critical points that allow the early definition of warnings as measures of preparation for extreme precipitation phenomena.

Faced with the results, in general terms and according to a simulation made with the SWMM software and a design check made from a spreadsheet; Some operational problems related to changes in the topology of the existing networks are identified by the coupling of the new drainage works.

Keywords: Sewerage, Airport, Rainwater, Modeling.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda de viajes, así como la consolidación de la ciudad de Bogotá como eje central para las conexiones de vuelos internacionales, han repercutido en el desarrollo de obras civiles para la ampliación del Aeropuerto Internacional El Dorado. Dichas obras han representado un reto significativo en el desarrollo de sistemas como el alcantarillado pluvial, el cual, ante la connotación actual, debe contar con un mejor desempeño para enfrentar las tormentas.

Aun cuando se han presentado notables esfuerzos para establecer sistemas de drenaje eficientes; antecedentes a nivel nacional como el pasado fenómeno de la niña continúan siendo un reto significativo para las estructuras hidráulicas y el normal funcionamiento de las plataformas. Es de resaltar que temporadas de invierno como la del 2011 representaron serias afectaciones en las poblaciones, infraestructura entre otros aspectos que incrementaron la vulnerabilidad hacia las fuertes lluvias. (IDEAM, 2012).

El contexto local, refleja serias implicaciones con relación a condiciones climáticas cada vez más volátiles; como es el caso de la inundación presentada el 20 de abril del año 2017 en la plataforma de abordaje del Aeropuerto El Dorado, ocasionada entre otras razones por las fuertes precipitaciones que afectaron el desempeño de la red de alcantarillado pluvial. En este sentido, se evidencia la necesidad de establecer la causa de dicha inundación que representó serias implicaciones en materia económica y social para los usuarios del aeropuerto.

Conforme a lo anterior, en el presente trabajo se considera la modelación del sistema de alcantarillado pluvial y su respuesta frente a caudales de diseño, con el fin de identificar tramos con problemas de inundaciones, las cuales eventualmente pueden ocasionar múltiples afectaciones en términos de retraso en vuelos, cierre de plataforma y costos asociados a interrupciones y demoras en los servicios de transporte aéreo.

De esta manera se resalta que la información obtenida servirá como insumo básico para orientar futuros estudios encaminados a resolver de manera definitiva los inconvenientes descritos.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Saneamiento de comunidades.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes del problema

A nivel nacional durante el fenómeno de la niña entre los años 2010 y 2011, de acuerdo con, (Ministerio del Interior, 2016), se presentaron afectaciones por eventos extremos relacionados con inundaciones, vendavales y deslizamientos, con un reporte total de 3623 eventos en 30 departamentos, con repercusiones en más de 900 municipios y el Distrito Capital. Los riesgos frente a eventos climáticos extremos son cada vez mayores, teniendo en cuenta que la variabilidad climática y cambio climático ocasionan que sequias e inundaciones sean más frecuentes (IDEAM, 2015.)

Por lo anterior, existe una marcada tendencia a la priorización del abastecimiento de agua en comparación al sistema de alcantarillado, el cual empieza a cobrar importancia cuando afecta la salud de las personas, genera desplazamientos, emergencias por inundación e incremento en costos de mantenimiento y por daños ocasionados a la infraestructura, entre otros (Hernández Rodríguez, 2012). En este sentido, situaciones como la ocurrida el pasado 20 de abril del año 2017, luego de las fuertes lluvias, que ocasionaron inundaciones en la plataforma interior del aeropuerto; cobran una significativa importancia para el manejo del mismo, teniendo en cuenta que este percance generó cancelación de más de 90 vuelos, lo cual representa un riesgo para la vida de los pasajeros y las tripulaciones, así como la integridad de las aeronaves.

De esta manera, se evidencia la necesidad de establecer algunas causas que pueden repercutir en posibles problemas relacionados con inundaciones, a fin de contar con información y elementos que favorezcan eventualmente el desarrollo de medidas para solucionar este tipo de situaciones.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Qué tan vulnerable es la red del sistema de alcantarillado de la plataforma interior del aeropuerto El Dorado, frente a fenómenos de precipitación?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Aun cuando se han realizado múltiples esfuerzos en la ampliación del Aeropuerto El Dorado, entre los cuales se resalta el sistema de drenaje de aguas pluviales, existen factores inmersos dentro del contexto del alcantarillado pluvial y su afectación en respuesta a avenidas torrenciales marcadas por altas intensidades de precipitación; que conllevan a la presencia de riesgo por inundaciones y por ende afectaciones que van desde daños en infraestructura hasta las implicaciones con relación a la cancelación de vuelos.

Es claro que factores como el incremento en la demanda de vuelos, así como la ubicación estratégica de la capital del país frente al contexto internacional como nodo de conexión, repercutieron en la necesidad de la ampliación del Aeropuerto Internacional El Dorado. Esta situación incrementó las áreas impermeables, lo cual aumenta los niveles de escorrentía y por ende exige una mayor capacidad del alcantarillado pluvial.

Teniendo en cuenta que los eventos de lluvias de alta intensidad son cada vez más frecuentes, es necesario analizar la respuesta del sistema de alcantarillado pluvial frente a las condiciones de clima cambiante y aún más en un contexto en el cual, de acuerdo con (IDEAM, 2015.), se esperan incrementos en precipitación del orden de 6.57% para la normal climática de 2011 - 2040, con relación al escenario de cambio climático de ensamble multimodelo para la ciudad de

Bogotá. En este sentido frente a las tendencias del clima, será fundamental identificar las causales de inundación de la plataforma Interior del Aeropuerto El Dorado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Caracterizar el drenaje de aguas lluvias de la plataforma interior del aeropuerto internacional El Dorado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la información hidrológica de la cuenca urbana.
- Estimar el caudal máximo probable de drenaje para la red.
- Modelar el comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado pluvial ante el caudal máximo probable.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Cuenca

Es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (artículo 3 del Decreto 1640 de 2012) citado por (MADS, 2014)

Una subcuenca corresponde a toda el área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca, por lo cual varias subcuencas pueden conformar una cuenca. (Faustino, Jiménez, Velásquez, Alpízar, & Prins, 2006). Entre tanto, una microcuenca, es toda el área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca; de la misma forma ocurre con las quebradas, las cuales entregan sus aguas a una microcuenca, por lo que finalmente varias quebradas pueden conformar una microcuenca (Faustino, Jiménez, Velásquez, Alpízar, & Prins, 2006).

Cuenca urbana

Se le denomina así al área urbanizada en un determinado sector, en donde se recogen las aguas lluvias para conducir las a su disposición final en un cuerpo de agua natural. La característica principal de las cuencas urbanas está representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de nuevos edificios, pavimentación de veredas, calles y avenidas, y la remoción de la cobertura vegetal. Estas condiciones repercuten en el aumento del volumen y la velocidad de escorrentía produciendo caudales pico mayores con respecto a una cuenca no urbanizada. (Guetierrez & Ayala, 2000)

Instrumentación meteorológica en aeropuertos.

Las estaciones meteorológicas miden la variabilidad y cambios atmosféricos debido a que estos tienen un impacto importante en la seguridad y en la eficiencia económica de los vuelos. (Gonzalez, 2012). Entre las variables climáticas de especial interés para la aviación, se encuentra la precipitación, la cual requiere de una serie de medidas para su medición, en donde es necesario evitar errores en las mediciones por pérdidas relacionadas con la evaporación, los efectos del viento y salpicaduras. (IDEAM).

La precipitación se registra por medio de los pluviómetros los cuales miden la cantidad de lluvia caída durante un cierto tiempo, ya sea líquida (lluvia o llovizna) o bien sólida (nieve o granizo) Entre los pluviómetros más comúnmente usados se encuentran los pluviómetros Hellmann, los cuales consisten en un vaso cilíndrico con una boca de tamaño estándar (200cm²) que queda perfectamente horizontal y debe estar situada a 1,50m del suelo. (Guetierrez & Ayala, 2000).

Por otra parte, los pluviógrafos permiten determinar la intensidad de la precipitación, es decir, miden si la precipitación cae de forma pausada y continua, o si lo hace acumulando gran cantidad de precipitación en muy poco tiempo. (Gonzalez, 2012).

Con la información obtenida a partir de estos instrumentos se obtienen los insumos básicos para múltiples usos, entre las cuales se encuentra el análisis de los efectos de los eventos de precipitación frente a la respuesta de sistemas de drenaje en el caso de cuencas urbanizadas. (Hernández Rodríguez, 2012).

De esta manera es evidente la necesidad de contar con información primaria de variables climáticas, a fin de tener información que permita entender el ciclo hidrológico de una cuenca, ya sea rural o urbana, y de esta manera conocer las posibles implicaciones de la variabilidad climática como una forma de generar medidas de adaptación y preparación frente a los efectos

del clima cambiante, los cuales son determinantes para múltiples aspectos como por ejemplo el diseño de obras civiles.

2.2 MARCO TEÓRICO

Impactos de la urbanización frente a las inundaciones.

Una cuenca que presenta alteraciones en las características del balance hídrico, como producto de la urbanización, tiende a aumentar la frecuencia y magnitud de las inundaciones, principalmente en aquellas zonas donde se ha incrementado la impermeabilización del suelo y se conducen todas las aguas a través de sistemas que pueden llegar a ser progresivamente insuficientes. (Hernández Rodríguez, 2012).

En la siguiente figura se puede apreciar las características del balance hídrico en una cuenca urbana.

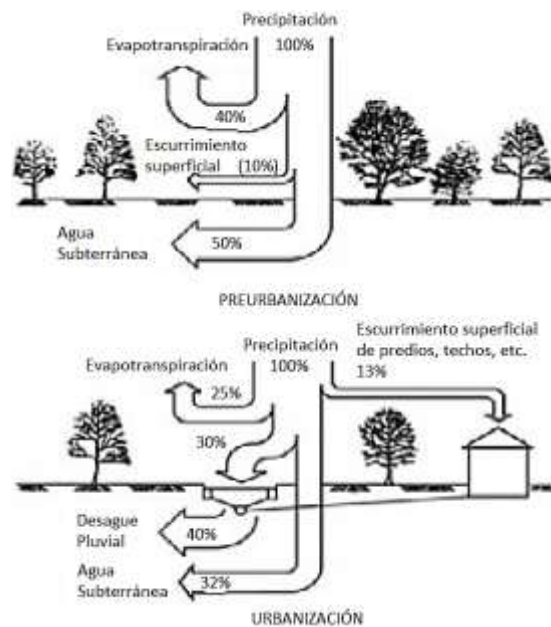


Figura 2-1. Balance hídrico en una cuenca en etapa de pre urbanización y urbanización.
Fuente: (Tucci, 2007)

De acuerdo con (Tucci, 2007), con la urbanización son introducidas las siguientes alteraciones en el referido ciclo hidrológico:

- Reducción de la infiltración en el suelo.
- El volumen que deja de ser infiltrado queda en la superficie, aumentando el escurrimiento superficial.

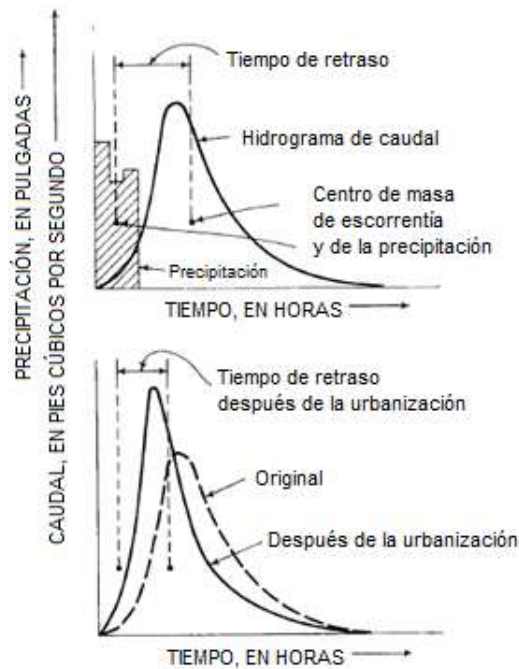


Figura 2-2. Hidrograma Unitario Hipotético para un área urbana. Fuente: (Leopold, 1968).

2.3 MARCO GEOGRÁFICO

El área geográfica en la cual se realizó la investigación es en el departamento de Cundinamarca, en la ciudad de Bogotá en la plataforma interior del Aeropuerto el dorado – Luis Carlos Galán Sarmiento. El área de estudio es presentada en color amarillo en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Mapa 2-1.Ubicación general del área de estudio. Fuente: Autores.

3 METODOLOGÍA

3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

Fase de planeación y recolección de información.

En esta fase se estableció el cronograma de ejecución del estudio, así como los fundamentos base para todo el proyecto.

Fase de procesamiento de información y análisis.

Esta fase se encuentra ligada a la fase 1, consistió en la organización y análisis de la información relevante para el proyecto.

Fase de modelación y elaboración de memorias de cálculo.

Esta fase comprende la simulación de los tramos de la red que contaban con información completa, así como la identificación de problemas de la red conforme a la comprobación de diseño que tuvo en cuenta los caudales máximos de acuerdo con el periodo de retorno utilizado para el diseño de la plataforma interior del Aeropuerto El Dorado.

Fase de análisis de resultados y conclusiones.

En esta fase se realizó el análisis de los resultados obtenidos, con el fin de poder concluir acerca del tema de estudio.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Se realizó el modelamiento de los tramos de las redes que contaban con información completa con uso del Software libre EPA-SWMM. Así mismo, se realizó una comprobación de diseño con una hoja de cálculo creada con el fin de corroborar el desempeño y capacidad del sistema frente a los caudales de diseño de un periodo de retorno de 10 años, el cual, de acuerdo con (OPAIN S.A., 2016), corresponde al usado al momento de diseñar la obra.

3.2.1 Métodos aplicados durante el desarrollo del trabajo

Con relación a la caracterización del área de estudio desde el punto de vista hidrológico se usaron varios métodos con el fin de obtener hietogramas de diseño y caudales máximos con los cuales se comprobaría el desempeño del sistema de drenaje pluvial de la plataforma interior del Aeropuerto El Dorado. A continuación, se describen los métodos utilizados.

3.2.2 Método racional:

De acuerdo con (Chow, Maidment, & Mays, 1994) el método considera que si una lluvia con intensidad i empieza de manera instantánea y continua en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que se llegué al tiempo de concentración T_c , en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo de salida. De esta manera, el producto de la intensidad de la lluvia (i) y el área de la cuenca (A) es el caudal de entrada al sistema, y la relación entre dicho caudal y el caudal máximo Q (que ocurren en el tiempo T_c), se conoce como el coeficiente de escorrentía, el cual se encuentra en un intervalo de 0 hasta 1. La ecuación del método se encuentra representada por:

$$Q = 0.278 * C * i * A$$

Donde:

Q: Caudal máximo en m^3/s .

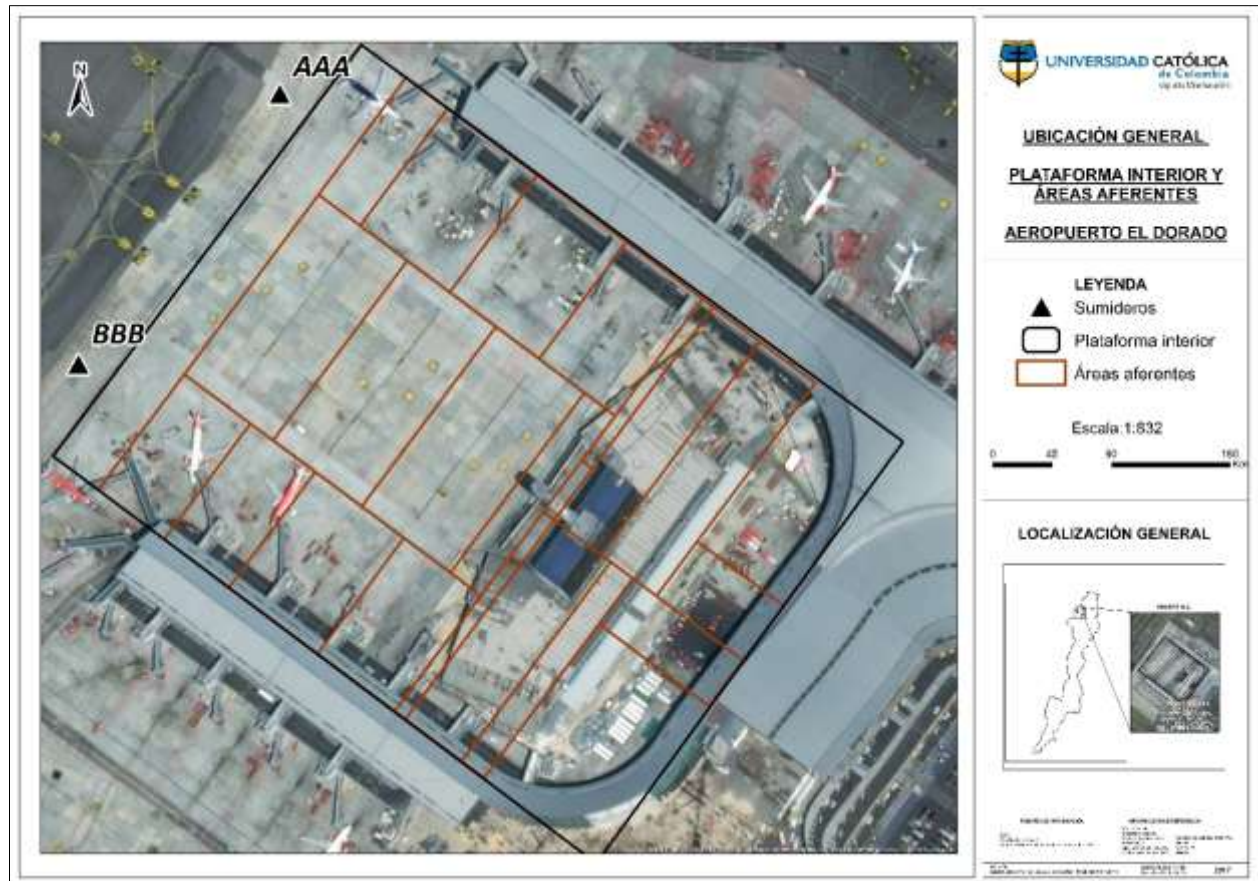
C: Coeficiente de escorrentía ponderado.

i: Intensidad en mm/h .

A: Área de la cuenca en km^2 .

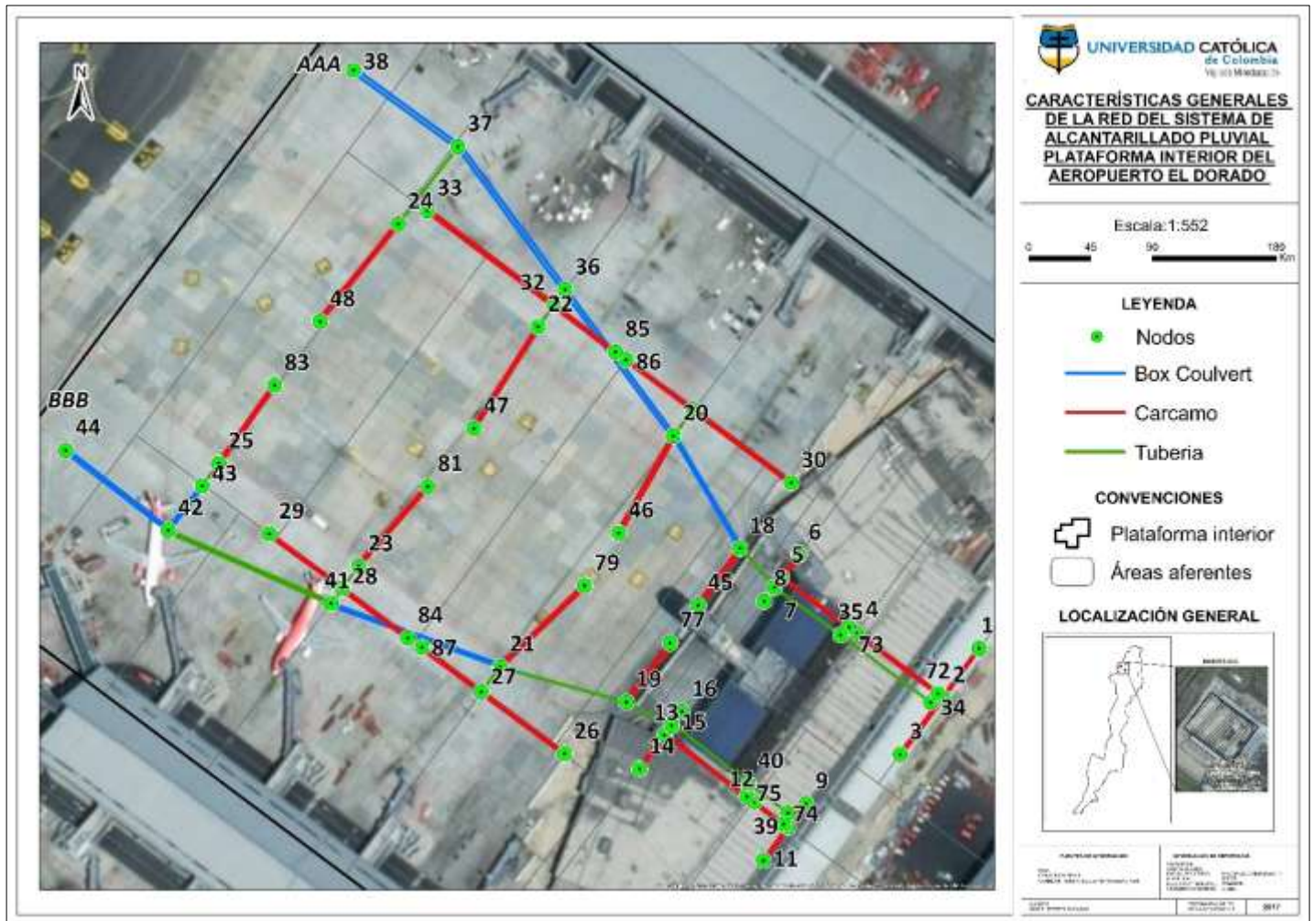
4 DESCRIPCION DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

La plataforma interior del Aeropuerto El Dorado cuenta con dos subredes, las cuales llevan el agua producto de escorrentía superficial a los sumideros denominados AAA y BBB mostrados en el Mapa 4-1.



Mapa 4-1. Ubicación general plataforma interior y áreas aferentes. Fuente: Elaboración propia con base en información de OPAIN sobre redes del sistema de drenaje pluvial de la Plataforma Interior del Aeropuerto El Dorado.

El sistema de drenaje de aguas lluvias de la plataforma interior está compuesta por dos subredes de Cárcamos, tuberías y Box culverts, las cuales entregan las aguas a los puntos AAA y BBB. La distribución de las estructuras y sus divisiones en las subredes se configuró con base en la información suministrada por OPAIN S.A. conforme a los planos de la red. De esta forma se presenta a continuación la distribución de las subredes en la plataforma.



Mapa 4-2. Distribución de las subredes del sistema de alcantarillado pluvial del Aeropuerto El Dorado. Fuente: Elaboración propia con base a los planos suministrados por OPAIN S.A.

La primera subred que corresponde al sumidero AAA, inicia en los nodos P1 y P3 y sigue su recorrido hasta drenar al nodo P38. Por su parte, para el sumidero BBB, se tiene una subred que inicia en los nodos P9 y P11 hasta drenar al nodo P44.

A partir de los planos obtenidos, se recolectó la información necesaria para ingresar al modelo EPA- SWMM. En este sentido, en la siguiente figura se muestra la información requerida para el caso de los nodos, tramos de la red y subcuencas (áreas aferentes de la plataforma interior).

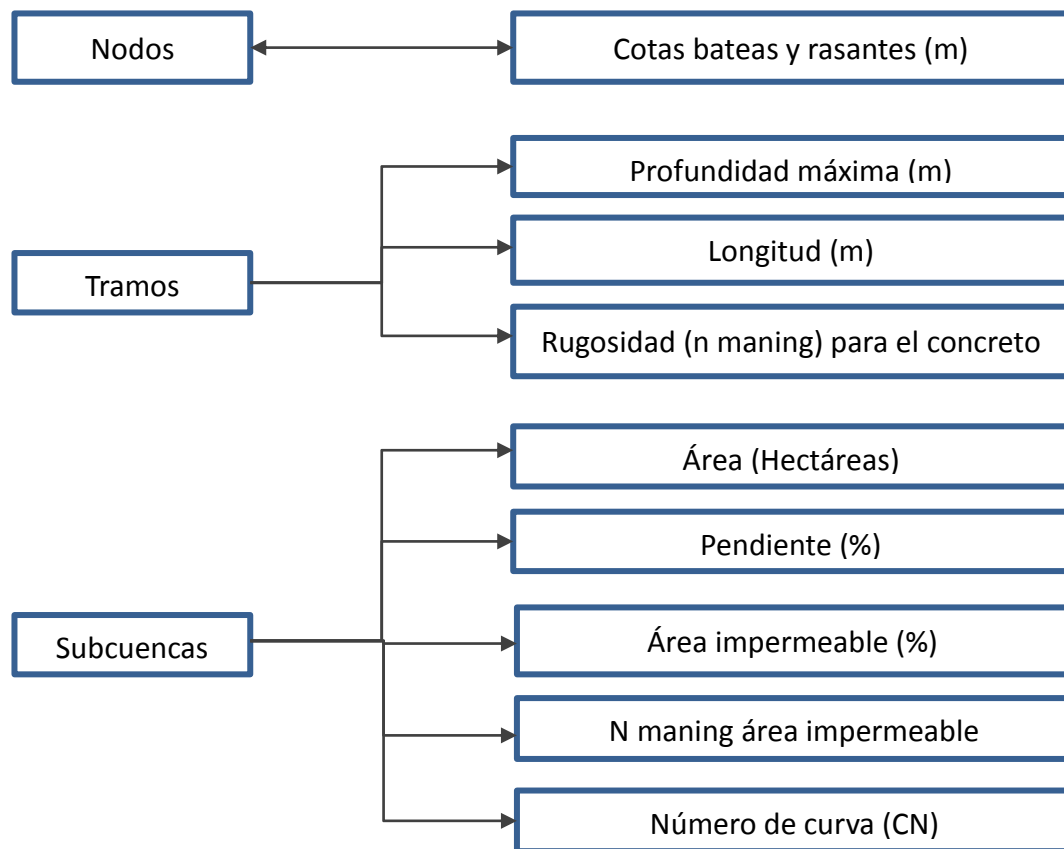


Figura 4-1. Información de entrada para el modelo EPA-SWMM. Fuente: Elaboración propia.

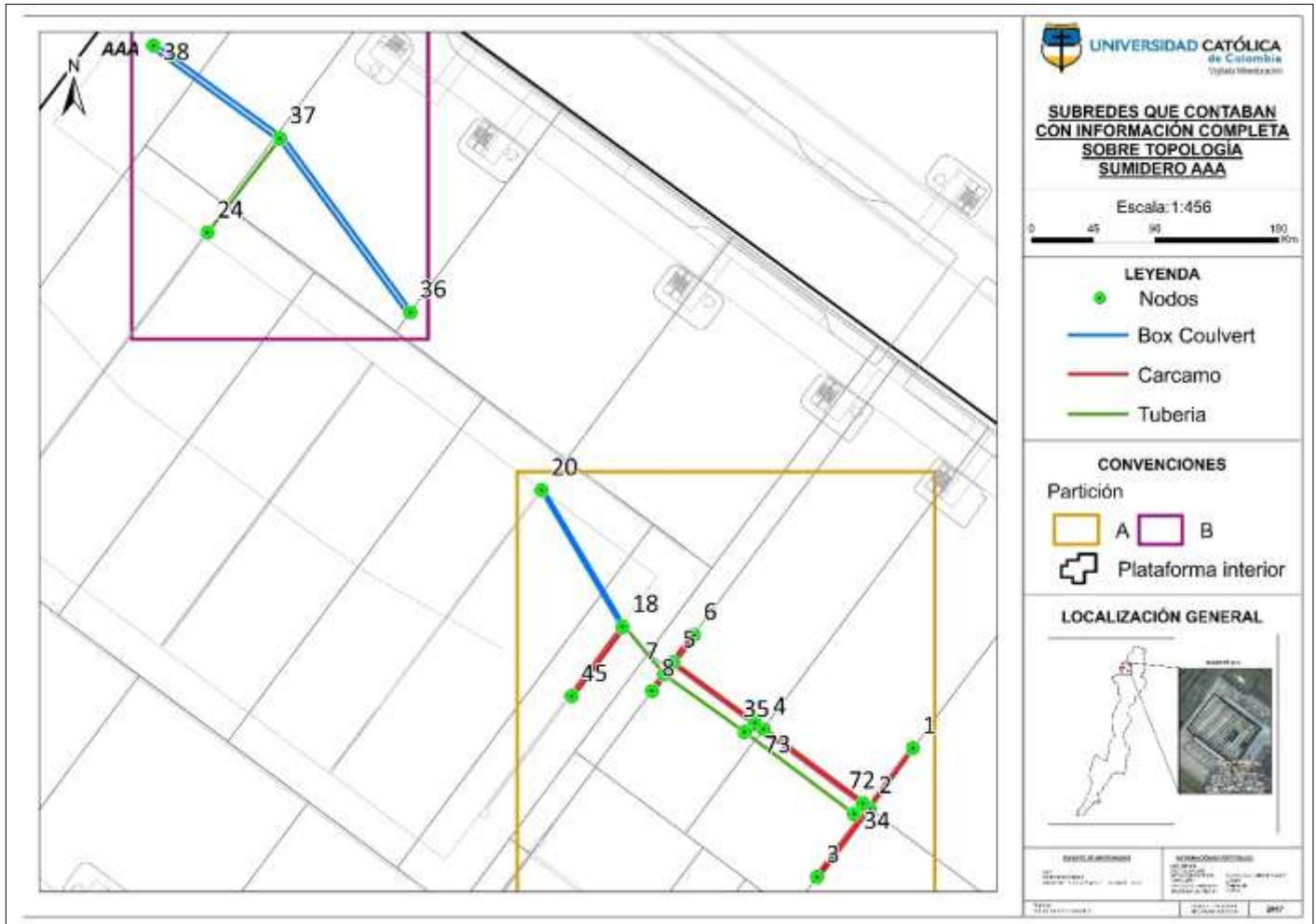
A partir de la revisión de la información obtenida y tras un análisis detallado de la red, se encontró que la misma presentaba inconsistencias frente a la información sobre su topología en relación a cotas de fondo de algunos pozos, lo cual impedía el adecuado ensamble de toda la red. Frente a esta limitación se optó por simular únicamente los tramos que contaban con información confiable. De esta manera se presenta a continuación los tramos con información completa sobre topología, con los cuales se realizaron las respectivas simulaciones y cálculos.

4.1 SEGMENTOS DE RED CON INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA CONFIABLE

Como se mencionó anteriormente, la selección de los tramos finalmente modelados correspondió a una identificación sobre disponibilidad de información para las redes que confluyen hacia los sumideros AAA y BBB, por lo cual fue necesario realizar algunas particiones de la red en diferentes subredes con el fin comparar los resultados de la simulación con la hoja de cálculo conforme a insumos confiables que permitieran llegar a conclusiones más precisas sobre causas de posibles problemas de desempeño de la red frente a problemas relacionados con presurizaciones de los colectores.

En este contexto se presenta en los siguientes mapas las particiones realizadas para cada una de las redes:

4.1.1 Segmentos de la red que drenan al sumidero AAA



Mapa 4-3. Segmentos con información completa que drenan hasta el sumidero AAA.
Fuente: Elaboración propia conforme a los planos de OPAIN.

Como se observa, se realizaron dos particiones para esta red, la primera de ellas corresponde a la subred de la partición A, la cual inicia en los nodos P1 y P3 y termina en el nodo P20. Por su parte, la segunda subred de la partición B, inicia en el nodo P36 hasta el nodo P38 (sumidero AAA).

4.1.1 Segmentos de la red que drenan al sumidero BBB



Mapa 4-4. Segmentos con información completa que drenan hasta el sumidero BBB.
Fuente: Elaboración propia conforme a los planos de OPAIN.

Como se puede apreciar, se realizaron dos particiones para esta red, la primera de ellas corresponde a la subred de la partición A, la cual inicia en los nodos P9 y P11 hasta el nodo P19. Por su parte, la segunda subred de la partición B, inicia en el nodo P42 hasta el nodo P44 (sumidero BBB).

5 ANALISIS DE LA TORMENTA REGISTRADA EL DÍA 20 DE ABRIL DE 2017

Como insumo básico para caracterizar el área de estudio en términos hidrológicos, se identificaron las estaciones climáticas de precipitación más cercanas a la plataforma interior del aeropuerto el Dorado. Para tal fin se consultó la ubicación de estaciones del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). (Figura 4.1)

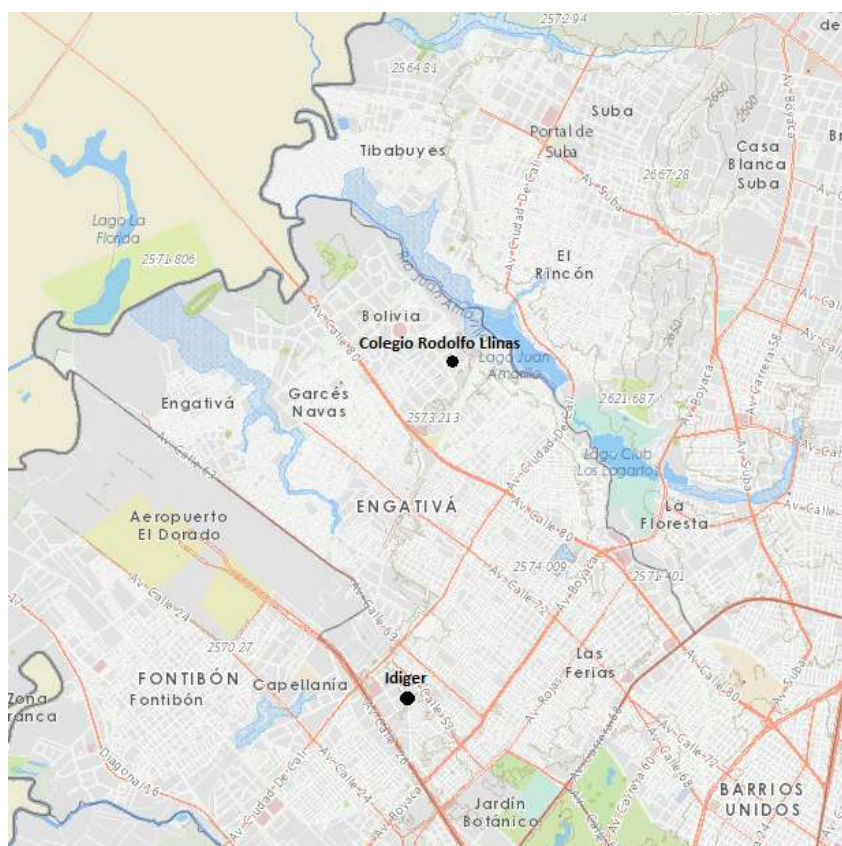


Figura 5-1. Ubicación de las estaciones cercanas al Aeropuerto el Dorado. Fuente: Geovisor IDIGER.

Como se observa en la anterior figura, las estaciones climáticas del IDIGER más cercanas al área de estudio corresponden al Colegio Rodolfo Llinas e Idiger. En este sentido se solicitó la

información de precipitación presentada en intervalos de 5 minutos para la fecha del 20 de abril de 2017, la cual corresponde al evento por el cual se presentó la inundación de la plataforma interior del aeropuerto el Dorado. Con base en la información obtenida, se presenta en la siguiente figura la distribución de la precipitación en un intervalo de tiempo que va desde las 10:35 am (minuto 635 del día) hasta las 6:50 pm horas (minuto 1130).

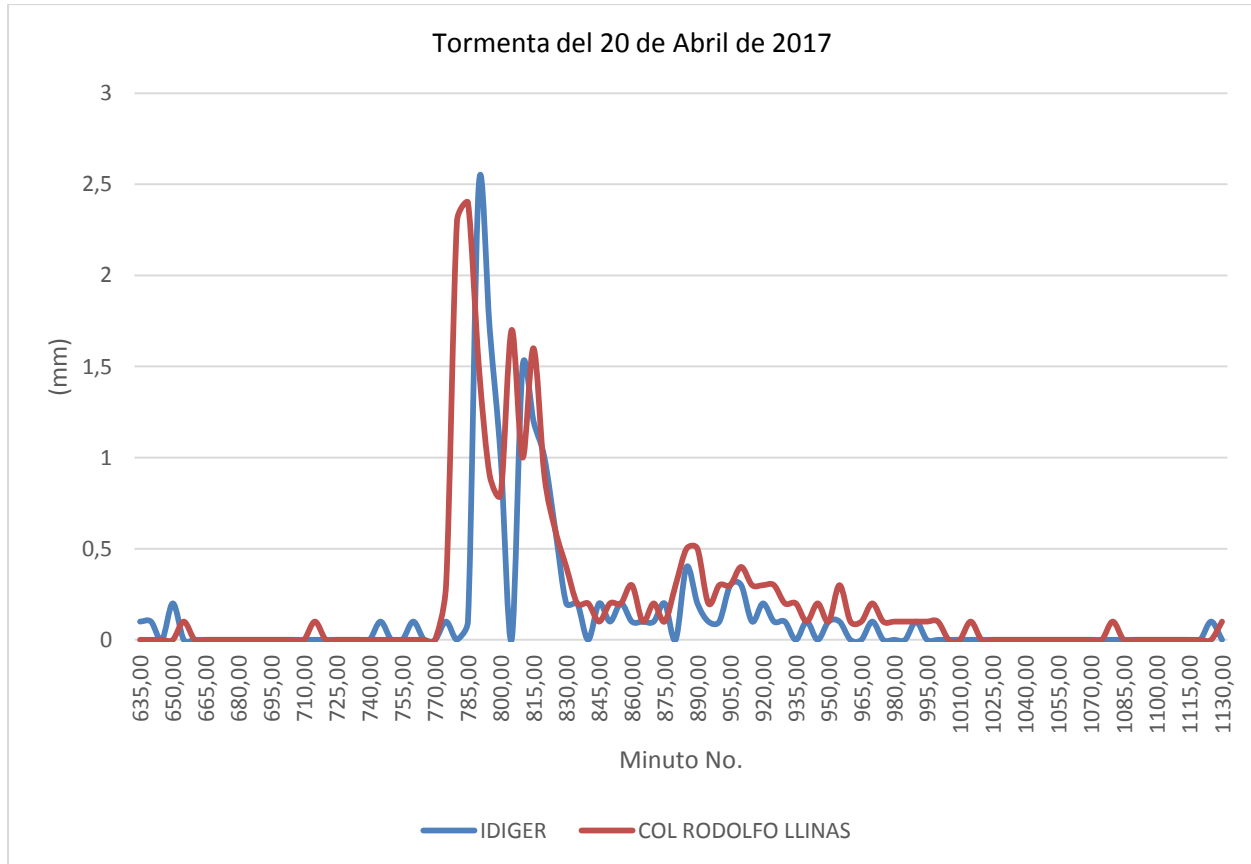


Figura 5-2. Tormenta del 20 de abril de 2017 en las estaciones cercanas al Aeropuerto El Dorado. Fuente: Elaboración propia con base en series climáticas del IDIGER.

5.1 ESTIMACIÓN DE LA TORMENTA OCURRIDA SOBRE LA PLATAFORMA INTERIOR DEL AEROPUERTO EL DORADO.

Con base en la información recopilada sobre estas estaciones se realizó una interpolación por el método del inverso de la distancia (IDW), por sus siglas en inglés. De acuerdo con (Felicísimo , A. M., 2014), este método se basa en asignar un mayor peso a las muestras cercanas y un menor peso a las muestras alejadas, la ecuación de este método está representada por:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n K_j * Z_i$$

Donde Z_j es el valor estimado para el punto j . El número de puntos usados en la interpolación viene dado por n ; z_i es el valor del punto i -ésimo y k_{ij} es el peso asociado al dato i en el cálculo en el dato del nodo j . Los pesos varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es una unidad. Para aplicar este método se identificó en primera instancia el centroide de la plataforma interior del Aeropuerto el Dorado como se muestra en el siguiente mapa.



Mapa 5-1. Centroides de la cuenca urbana y estaciones del IDIGER analizadas. Fuente: Elaboración propia con base en información del IDIGER sobre ubicación de estaciones.

A partir del procedimiento anterior, se midió la distancia desde el centroide hasta cada una de las estaciones, con el fin calcular un factor de ponderación a dichas estaciones al momento de interpolar. Los resultados de esta estimación se presentan en la siguiente tabla:

Estación	Distancia hasta el centroide (d) en km	(1/d)	Factor de ponderación
Colegio Rodolfo Llinas	4.60	0.22	0.48
Idiger	4.28	0.23	0.52
Total		0.45	1

Tabla 5-1. Factores de ponderación para la interpolación por el método IDW de la tormenta del 20 de abril en el Aeropuerto El Dorado. Fuente: Autores.

Conforme a la aplicación de este método, se obtuvieron los resultados de la precipitación interpolada para la plataforma interior del Aeropuerto El Dorado, con relación al evento de precipitación señalado anteriormente. De esta manera se presenta a continuación los resultados de esta estimación desde las 10:35 am (minuto 635 del día) hasta las 6:50pm horas (minuto 1130).

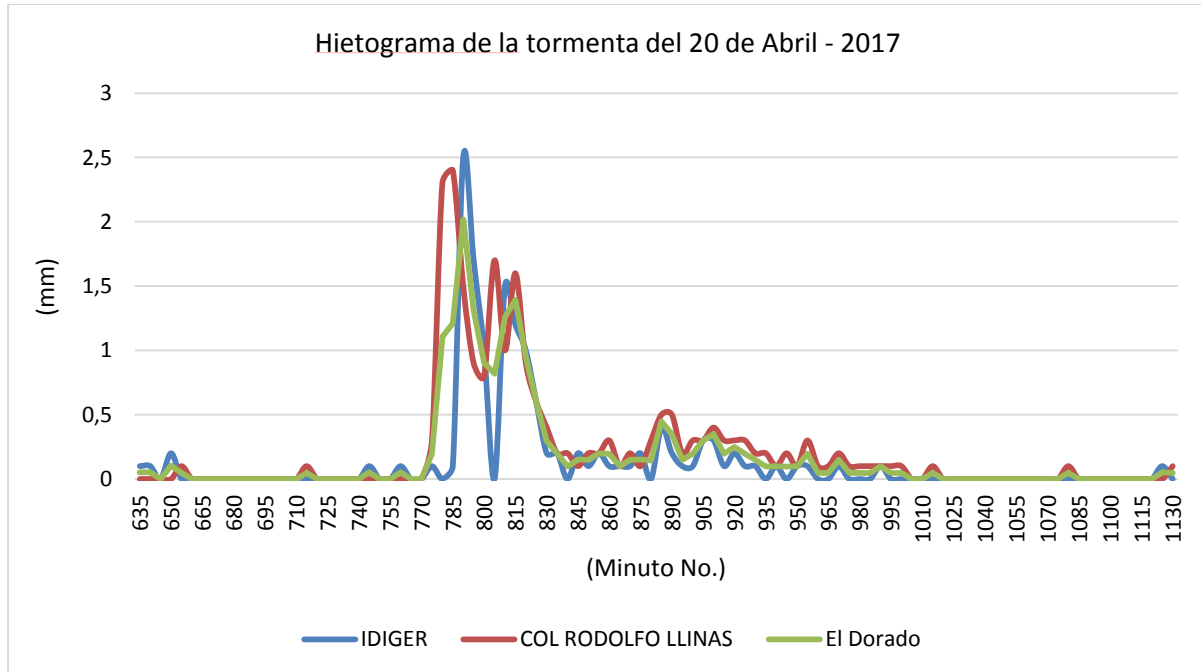


Figura 5-3. Valores interpolados para la tormenta del 20 de abril de 2017. Estación Aeropuerto El Dorado.

Como resultado de esta interpolación se destaca que el evento de precipitación de interés tiene su inicio a las 12:50 pm (minuto 770) y termina a las 2:05 pm (minuto 845). De igual forma, durante el evento de interés se obtuvo una precipitación acumulada de 12.52 mm, con un valor máximo de 2.02 mm el cual se calculó para la 1:10 pm.

6 ESTIMACION DE CAUDALES DE DISEÑO

6.1 CURVA DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA:

Con el fin de identificar el caudal máximo que se presentaría en los tramos de las redes se usó la ecuación de la curva IDF para un periodo de retorno de 10 años. Dicho periodo corresponde al periodo utilizado para el diseño de la red del sistema de drenaje de alcantarillado pluvial del Aeropuerto El Dorado. (OPAIN S.A., 2016). La ecuación característica del periodo de retorno señalado se presenta a continuación:

$$I = C_1(D + X_0)^{C_2}$$

Donde,

I: Intensidad en (mm/hora).

C1, C2, X0: Parámetros del modelo.

D: Duración en minutos.

Los coeficientes o parámetros del modelo se presentan a continuación:

Tiempo (años)	C_1	X_0	C_2
10	5471.44829	26.6	-1.10989

Tabla 6-1. Coeficientes de la Ecuación IDF para un periodo de retorno de 10 años.
Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

6.1.1 Duración de la tormenta de diseño

Para calcular la intensidad asociada a un caudal máximo conforme a la ecuación de la Curva IDF para el periodo de retorno utilizado para diseñar la red de alcantarillado, es necesario hallar la duración de la tormenta, para lo cual se calculó el tiempo de concentración en la cuenca urbana, teniendo en cuenta los elementos importantes: el tiempo de entrada y tiempo de tránsito, conforme la siguiente ecuación:

$$T_c = T_e + T_t$$

Donde T_c corresponde al tiempo de concentración en minutos, T_e al tiempo de entrada en minutos y T_t representa el tiempo de tránsito en minutos.

Frente al tiempo de entrada, se utilizó la ecuación de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos, la cual se presenta por:

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

Donde:

Te: Tiempo de entrada en minutos.

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

L: Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)

S: Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m).

Para el caso del tiempo de recorrido se aplicó la siguiente ecuación:

$$T_t = \frac{L}{(60 * V)}$$

Donde T_t es el tiempo de recorrido o de tránsito, L corresponde a la longitud de la tubería o tramo de la red en metros y V representa la velocidad media del flujo en $m * s^{-1}$.

Conforme a lo anterior, se realizaron los cálculos correspondientes para cada tramo de la red de drenaje como se muestra a continuación:

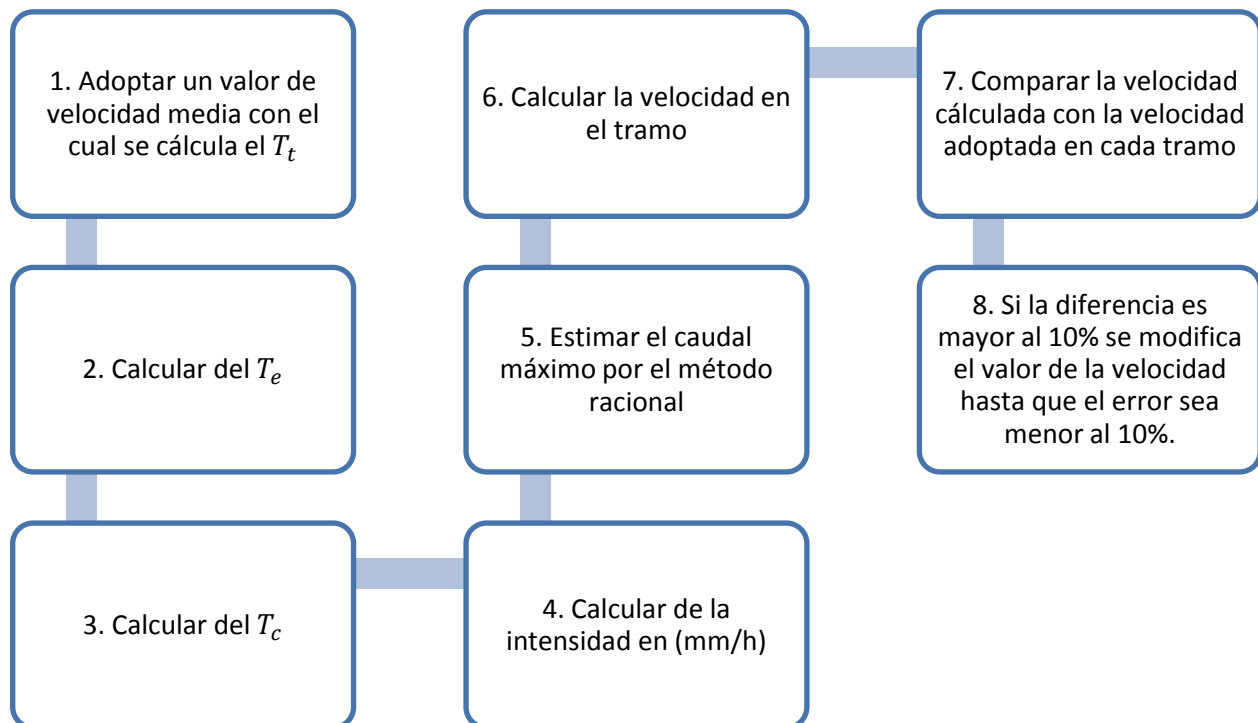


Figura 6-1. Metodología para el cálculo del tiempo de concentración. Fuente: Adaptado de: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

Con base en lo anterior se obtuvieron los resultados frente al tiempo de entrada y tránsito para cada tramo y la red en su totalidad. Los resultados se aprecian en el apéndice A.

6.2 CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO PARA LOS TRAMOS DE LOS SEGMENTOS DE LA REDES

Con los resultados anteriores se calcularon los caudales para cada tramo de cada segmento de la red. Tales caudales se aprecian en la Tabla 6-2 y la Tabla 6-3.

RED	SUBRED	TRAMO		ESTRUCTURA	Intensidad	Caudal
					mm/h	l/s
Principal	Partición A	1	2	CARCAMO	97.7	157.4
		2	34	TUBERIA	97.59	216.51
		34	35	TUBERIA	95.03	210.81
		35	7	TUBERIA	92.56	345.67
		7	18	TUBERIA	92.2	489.92
		18	20	BOX-CULVERT	91.63	519.59
Secundaria		3	2	CARCAMO	103.38	62.8
		72	4	CARCAMO	92.49	140.21
		4	35	TUBERIA	92.2	139.77
		73	5	CARCAMO	93.78	120.86
		6	5	CARCAMO	96.97	21.51
		5	7	TUBERIA	96.91	146.4
		8	7	CARCAMO	113.18	7.77
		45	18	CARCAMO	126.16	44.98
Principal	Partición B	36	37	BOX-CULVERT	88.59	1024.3
		37	38	BOX CULVERT	87.94	1107.02
Secundaria		24	37	TUBERIA	102.67	105.34

Tabla 6-2. Caudales máximos de los tramos de las redes con información completa hasta el sumidero AAA.

RED	SUBRED	TRAMO		ESTRUCTURA	Intensidad	Caudal
					mm/h	l/s
Principal	Partición A	11	10	CARCAMO	98.07	189.85
		10	39	TUBERIA	97.94	251.67
		39	40	TUBERIA	97.44	250.4
		40	15	TUBERIA	96.75	304.83
		15	19	TUBERIA	96.32	587.89
Secundaria		9	10	CARCAMO	102.95	65.25
		74	12	CARCAMO	95.29	55.37
		75	13	CARCAMO	94.11	135.95
		14	13	CARCAMO	98.22	141.89
		13	15	TUBERIA	94.06	271.78
		16	15	CARCAMO	114.09	7.23
		77	19	CARCAMO	127	45.28
Principal	Partición B	42	44	BOX CULVERT	91.21	1272.72

Tabla 6-3. Caudales máximos de los tramos de las redes con información completa hasta el sumidero BBB.

7 MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED

7.1 MODELACION DE LOS SEGMENTOS DE RED VIA HOJA DE CÁLCULO.

En esta sección se presentan los resultados de la comprobación de diseño realizada a partir de la hoja de cálculo elaborada para identificar problemas de presurización. De esta forma se obtienen los insumos necesarios para comparar posteriormente estos resultados con los obtenidos a través de EPA-SWMM.

7.1.1 Insumos utilizados para la comprobación de diseño

Conforme a las limitaciones de información señaladas anteriormente, se presentan los insumos utilizados para la comprobación de diseño de las subredes analizadas (ver Tabla 7-1).

Parámetros	Observaciones	Fuente
Áreas de drenaje	Áreas aferentes que drenan el agua lluvia hacia los cárcamos. (Ver Mapa 4-1 y Mapa 4-2).	Planos suministrados por OPAIN S.A.
Caudal de diseño	Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. Ver numeral 6 (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).	Cálculos propios con base en insumos sobre Curvas de Intensidad – Duración y Frecuencia de la Empresa del Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, (EAAB-ESP).

Parámetros	Observaciones	Fuente
Curvas de Intensidad – Duración y Frecuencia	Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).	Se obtuvo la Curva IDF para el centroide de la cuenca urbana a partir de la información suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, (EAAB-ESP).
Periodo de retorno de diseño	El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico vehicular, el comercio, la industria, etc. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016). Para el presente trabajo se utilizó un periodo de retronó de 10 años.	Informe de OPAIN sobre diseños de obras de drenaje del Aeropuerto El Dorado. (OPAIN S.A., 2016).
Coefficiente de escorrentía	Corresponde a la relación existente entre la escorrentía y la cantidad de agua lluvia que cae en una determinada área. Este coeficiente está representado por valores adimensionales de 0 a 1. Los valores cercanos a 1 representan coberturas con mayor grado de impermeabilidad. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016). Para el presente trabajo se consideró un valor de 0.95	Título D – RAS 2016, Tabla D.4.7 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016).

Parámetros	Observaciones	Fuente
Tiempo de concentración	El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). (Ver Figura 6-1)	Cálculos propios.
Propiedades de los tramos	<p>Se consideró de acuerdo con el tipo de estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cárcamos y box culvert: Base, altura de las secciones., longitud, pendiente y n de maning para el concreto. • Tubería: Diámetro, longitud, pendiente y n de maning para el concreto. 	Planos suministrados por OPAIN S.A.

Tabla 7-1. Insumos utilizados para la comprobación de diseño. Fuente: Elaboración Propia con base en información de la EAAB, Lineamientos del RAS e informes y planos suministrados por OPAIN S.A.

7.1.2 Parámetros calculados de acuerdo con el tipo de estructura.

Conforme a la información señalada en la Tabla 7-1, la comprobación de diseño consistió en calcular los siguientes parámetros para cada tipo de estructura en los segmentos correspondientes.

7.1.2.1 Tuberías.

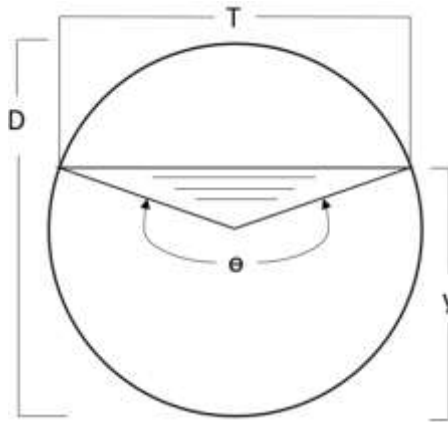


Figura 7-1. Sección transversal de un canal circular. Fuente: Adaptado de (Chow V. , 1994)

En la anterior figura, “y” corresponde a la altura, “D” al diámetro, “ θ ” al ángulo formado por la lámina de agua al interior de la tubería y “T” al ancho superficial. En este orden de ideas se presenta en la siguiente tabla los parámetros calculados para las tuberías.

Parámetro	Unidades	Ecuación
Altura (Y)	Metros (m)	$0.5 * D * (1 - \text{Cos}(0.5 * \theta))$
Área mojada (A)	Metros cuadrados (m2)	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$

Parámetro	Unidades	Ecuación
Perímetro Mojado (P)	Metros (m)	$\frac{\theta D}{2}$
Radio Hidráulico (R)	Metros (m)	$\frac{A}{P}$
Ancho Superficial (T)	Metros (m)	$D * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$
Profundidad Hidráulica Promedio (PH)	Metros (m)	$\frac{A}{T}$
Relación Profundidad hidráulica promedio Vs Diámetro.	Adimensional	$\frac{PH}{D}$

Tabla 7-2. Parámetros calculados para las tuberías en la comprobación de diseño. Fuente: Elaboración propia con base en (Chow V. , 1994).

7.1.2.2 Cárcamos y Box Culverts.

Estas estructuras son rectangulares, sus propiedades geométricas se presentan a continuación:

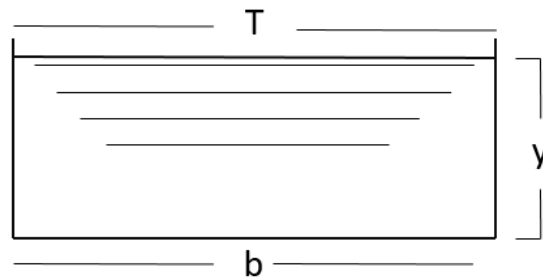


Figura 7-2. Sección transversal de un canal rectangular. Fuente: Adaptado de: (Chow V. , 1994)

En la anterior figura, “y” corresponde a la altura de la lámina de agua, “b” a la base y “T” al ancho del espejo de agua. En este sentido se presenta en la siguiente tabla los parámetros calculados para los cárcamos y box culverts.

Parámetro	Unidades	Ecuación
Área mojada (A)	Metros cuadrados (m ²)	$b * y$
Perímetro mojado (P)	Metros (m)	$b + 2 * y$
Radio hidráulico (R)	Metros (m)	$\frac{A}{P}$
Ancho Superficial (T)	Metros (m)	b
Relación Profundidad hidráulica promedio Vs Altura de las paredes del canal	Adimensional	$Y/Y_{\text{máx}}$

Tabla 7-3. Parámetros calculados para los cárcamos y box culverts en la comprobación de diseño. Fuente: Elaboración propia con base en (Chow V. , 1994).

Es importante resaltar que la altura de la lámina de agua de la sección transversal se calcula conforme al caudal máximo de diseño, como se muestra en el apéndice A.

7.1.3 Resultados de la modelación de los segmentos de red, vía hoja de cálculo.

En las tablas Tabla 10-1 y Tabla 10-2 del apéndice A se muestran los resultados obtenidos por medio de hojas de cálculo soportadas por Excel.

De acuerdo con los resultados, para las tuberías de los segmentos AAA y BBB (Tramos 2-34, 34-35, 35-7, 4-35 y Tramos 10-39, 39-40, 15-19 respectivamente), se observa que el ángulo obtenido tras la iteración con el método de Newton Raphson es superior a 2π radianes (6.28) ; lo cual quiere decir que la tubería es incapaz de transportar el caudal, por esta razón no se calcularon los demás parámetros hidráulicos en estos tramos.

Adicionalmente, en el segmento AAA, se identifican problemas de presurización para el tramo 36-37, en donde se supera la profundidad hidráulica máxima permitida. (Ver tablaTabla 10-1 del apéndice A), la cual no debe ser mayor del 93%, conforme a lo dispuesto en el artículo 151 de la resolución 0330 del 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Entre tanto, se destaca que para los demás segmentos se obtienen valores de velocidad inferiores a 5m/s, lo cual se encuentra dentro del parámetro aceptable de velocidad máxima de acuerdo a lo establecido por (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) en el artículo 150 de la resolución 0330 de 2017. De igual manera, se obtiene una relación de llenado máxima inferior al 93%, con lo cual, es posible señalar que no se presentan problemas asociados con presurización en dichos tramos.

Finalmente se resalta que a partir de los resultados obtenidos con la hoja de cálculo en relación a los caudales de diseño y parámetros hidráulicos para cada tramo, se obtienen insumos para la ejecución del modelo EPA-SWMM, en el cual se configuran dichos tramos con el caudal de entrada previamente estimado en Excel, para posteriormente comparar los resultados de dichos métodos frente a la identificación de problemas en la red asociados con presurización.

7.2 MODELACIÓN DE LOS SEGMENTOS DE RED VIA EPA-SWMM

Con el fin de realizar una simulación que permitiera identificar zonas con potenciales problemas relacionados con presurización de una red que debe trabajar a flujo libre, se usó el Software “Storm Water Management Model” (EPA-SWMM), el cual es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones en el que se puede utilizar un único evento o eventos extendidos. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, principalmente en alcantarillados urbanos (EPA, 2005). En dicho software, el módulo de escorrentía trabaja en función de una serie de cuencas en donde a partir de la precipitación se genera la escorrentía. De igual forma, el módulo de transporte o módulo hidráulico, analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento, bombas y elementos reguladores. Así mismo el software puede evaluar la evolución de la cantidad y calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel del agua en los pozos en las tuberías y canales durante una simulación (EPA, 2005).

Con base en lo anterior, se recolectaron los insumos necesarios para ejecutar el modelo, a partir de la siguiente información:

7.2.1 Insumos para la modelación.

- Caudales máximos en tramos con información topográfica detallada. Dichos caudales se obtuvieron conforme a los cálculos presentados anteriormente mediante el método racional.
- Red de drenaje: Obtenida a partir de planos proporcionados por la empresa OPAIN S.A, concesionaria del Aeropuerto El Dorado.

Conforme a esta información se construyeron cuatro modelos, es decir: un modelo para cada uno de los cuatro segmentos de la red citados en el numeral 4.1.

7.2.2 Modelación de los segmentos de red.

La ejecución del modelo EPA-SWMM permitió identificar zonas donde se presentarían problemas con el transporte del agua lluvia. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, frente a las limitaciones de información sobre cotas bateas de algunos tramos de la red, la simulación se realizó considerando el flujo de las tuberías en condiciones de caudal máximo sin tener en cuenta el hietograma de la tormenta real del evento del 20 de abril.

Conforme a lo anterior, se presenta a continuación los resultados para cada segmento de la red.

7.2.3 Segmentos de red que drenan al Sumidero AAA.

Los segmentos A y B que drenan al sumidero AAA son mostrados en el Mapa 4-3.

7.2.3.1 Segmento A que drena al sumidero AAA.

Para este sector se puede concluir que existen problemas de presurización de la red, los cuales inician en el pozo (P2) y terminan en el pozo P7 (ver Figura 7-4). En parte dichos problemas pueden ser generados por el uso inadecuado de elementos con sección transversal inferior a la necesaria y cambios de colectores circulares a box culvert.

En los puntos de recolección y entrada a la red (Cárcamos) Tramo P1-P2 (ver Figura 7-4), se cumple con las consideraciones hidráulicas, así como la capacidad hidráulica prevista.

Conforme a lo anterior, en Figura 7-3 se presentan los caudales transportados en cada tramo. Además, en la Figura 7-4 se muestra el perfil de flujo en el cual se evidencian los puntos de saturación de la red.

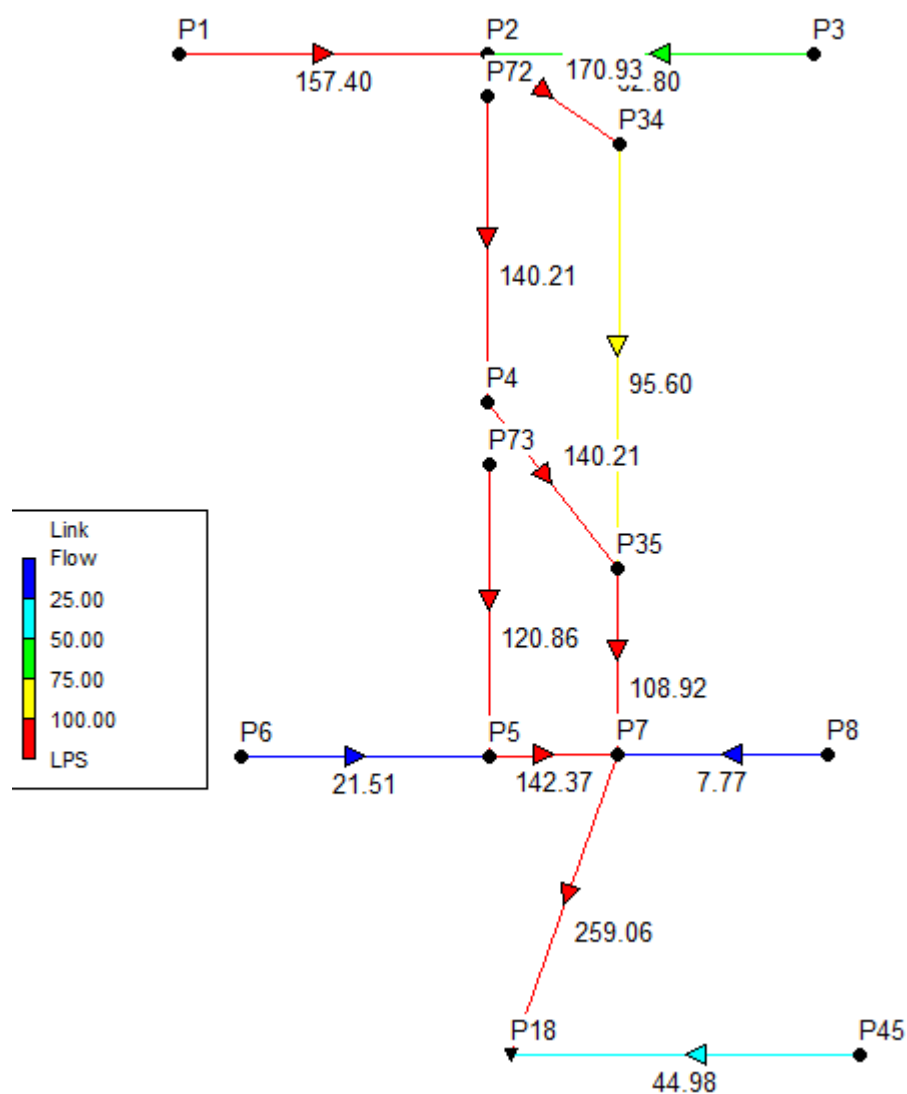


Figura 7-3. Caudales transportados por cada tramo para el segmento A que drena al sumidero AAA. Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM.

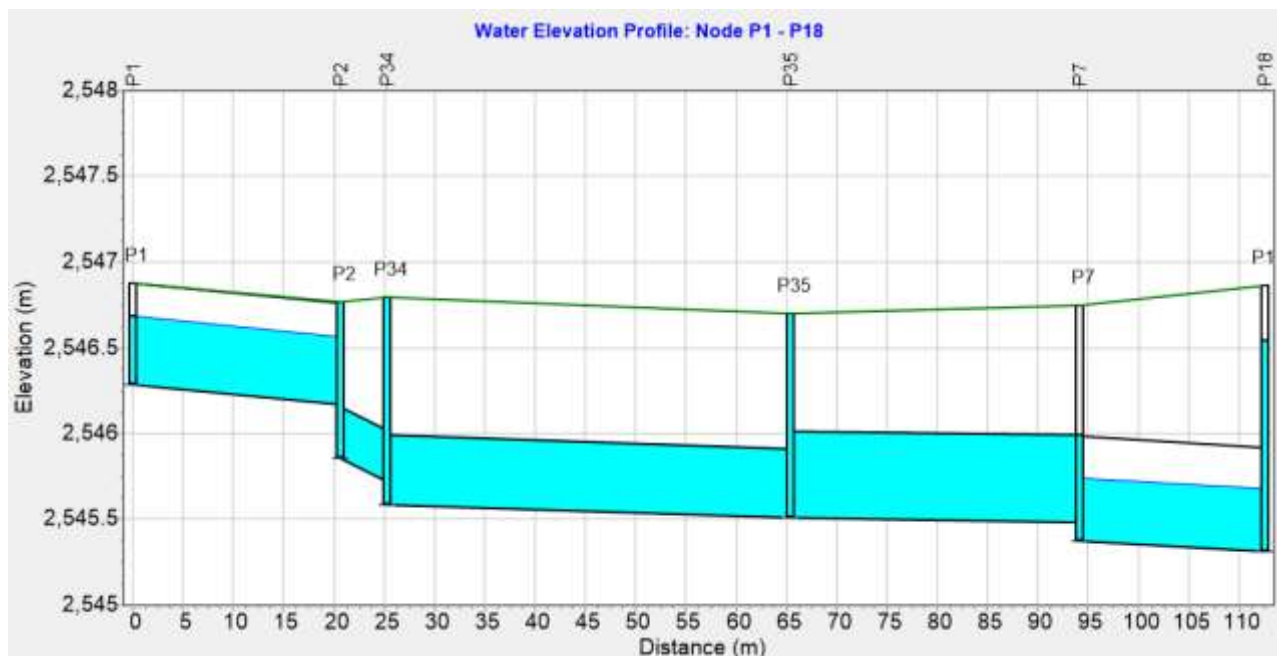


Figura 7-4. Niveles máximos del agua para el segmento A que drena al sumidero AAA.
Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM

7.2.3.2 Segmento B que drena al sumidero AAA

Para este segmento se identificaron problemas relacionados con presurización frente a una condición de caudal máximo para un periodo de retorno de 10 años en el tramo P36 a P37 (ver Figura 7-6).

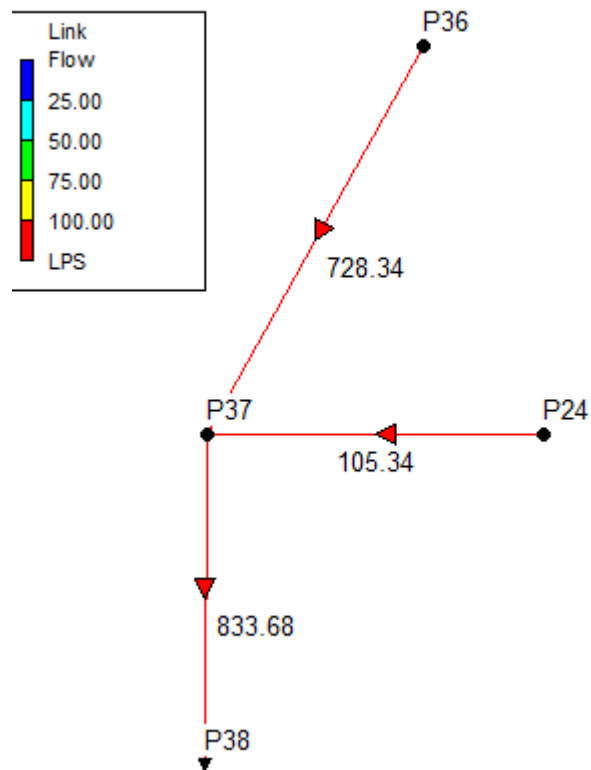


Figura 7-5. Caudales transportados por cada tramo para el segmento B que drena al sumidero AAA. Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM.

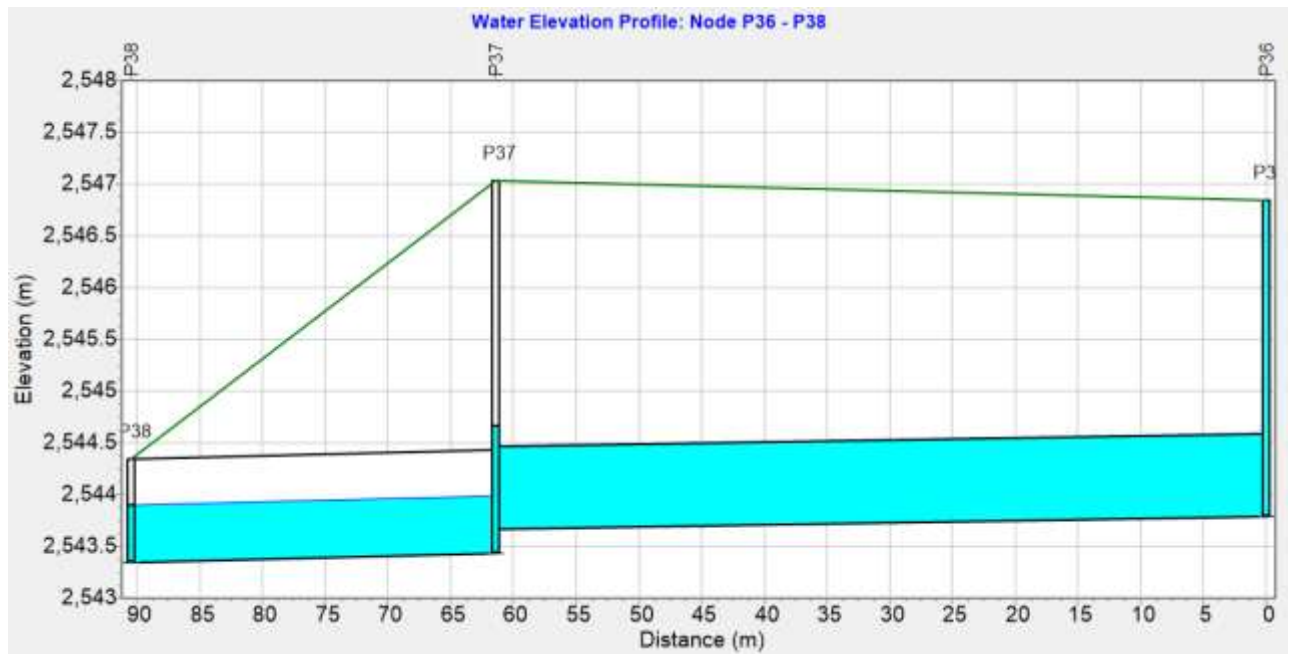


Figura 7-6. Niveles máximos del agua para el segmento B que drena al sumidero AAA.
Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM.

7.2.4 Segmentos de red que drenan al sumidero BBB

Los segmentos A y B que drenan al sumidero BBB son mostrados en el Mapa 4-4.

7.2.4.1 Segmento A que drena al sumidero BBB

Como se observa en la Figura 7-8, los tramos entre los pozos P10 a P39 y P15 a P19 presentan problemas de presurización.

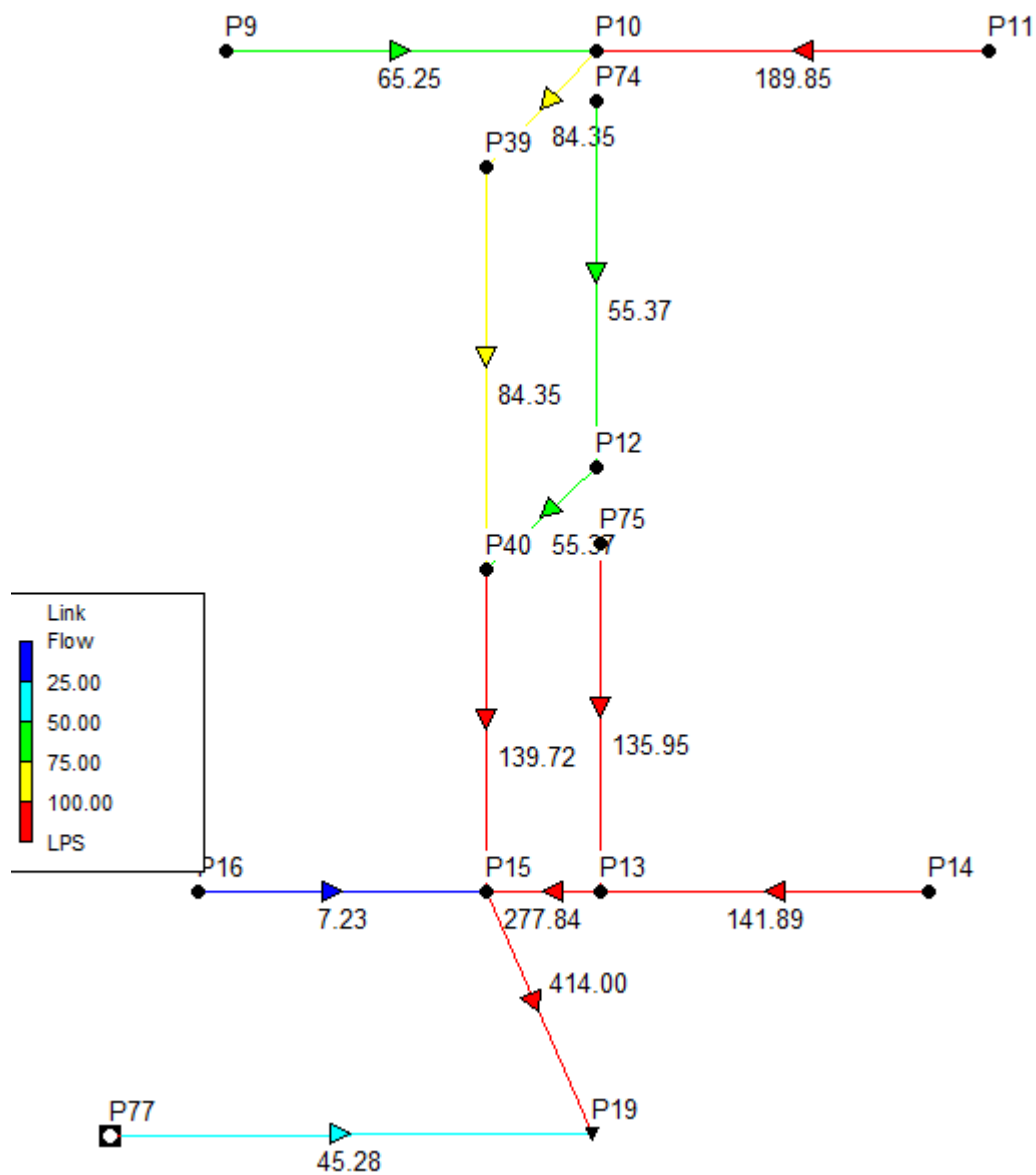


Figura 7-7. Caudales transportados por cada tramo para el segmento A que drena al sumidero BBB. Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM

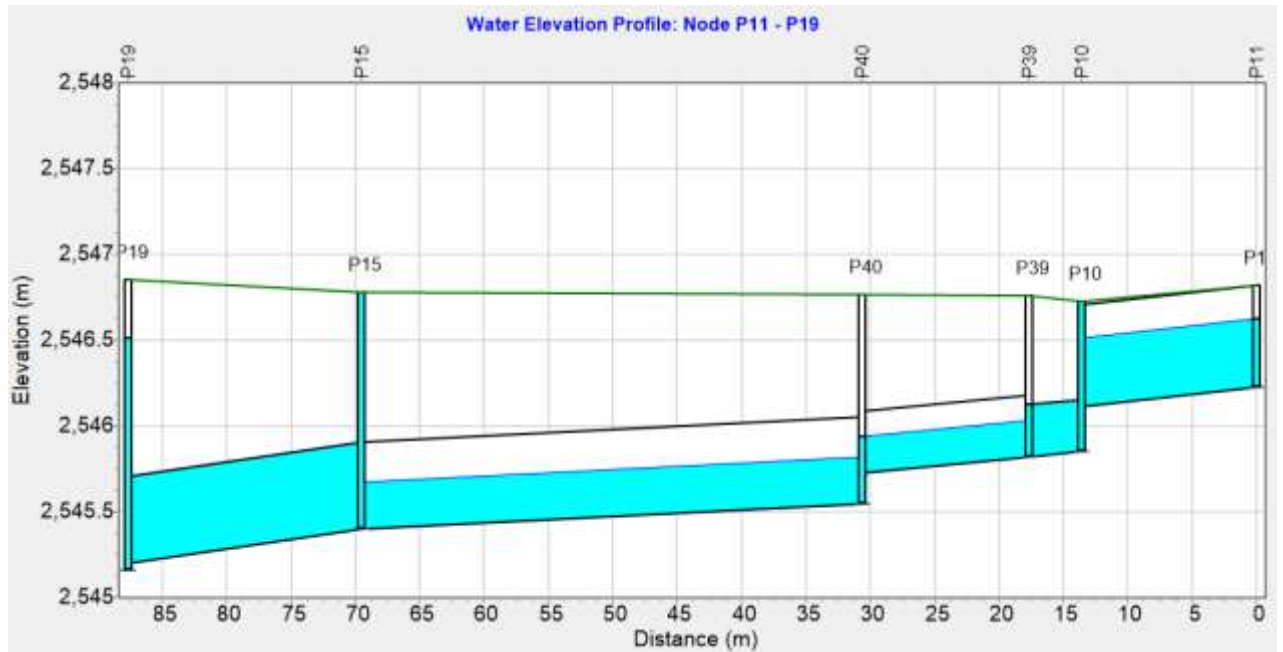


Figura 7-8. Niveles máximos del agua para el segmento A –que drena al sumidero BBB.
Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM.

7.2.4.2 Segmento B que drena al sumidero BBB

Para este sector se puede apreciar que se presenta una saturación de la red para el caudal transportado en el tramo P42 a P44. Ver Figura 7-10.

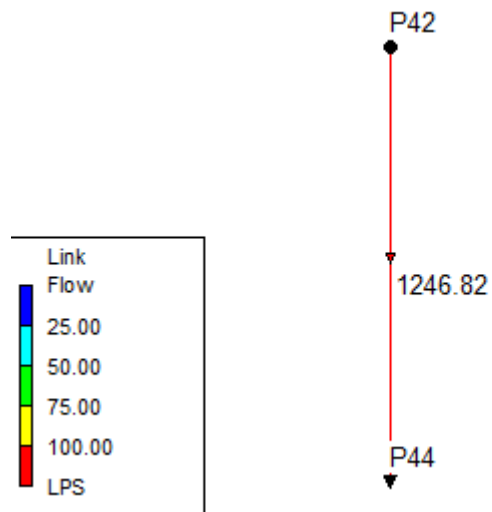


Figura 7-9. Caudales transportados por cada tramo para el segmento B que drena al sumidero BBB. Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM.

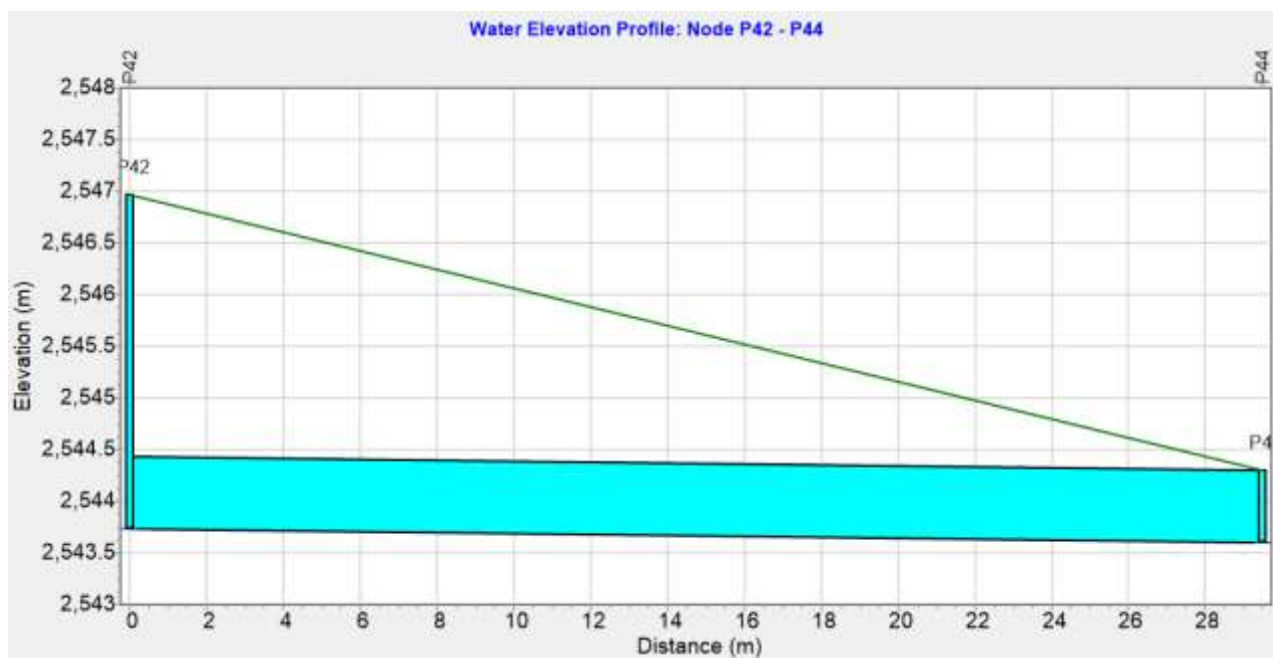


Figura 7-10. Niveles máximos del agua para el segmento B –que drena al sumidero BBB. Fuente: Resultados del programa EPA-SWMM

7.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

En esta sección se comparan los resultados antes obtenidos a partir de la simulación con SWMM con los alcanzados mediante la comprobación de diseño realizada en la hoja de cálculo desarrollada por los autores. Para este fin, se identificaron los tramos que por lo menos en alguna de las simulaciones realizadas tanto en EPA-SWMM como en la hoja de cálculo, presentaron problemas de presurización. Los resultados de esta comparación se muestran a continuación:

Tramos identificados	¿Se identifican problemas de presurización?	
	SWMM	Hoja de Cálculo
P2 - P34	Si	Si
P34 - P35	Si	Si
P35 - P7	Si	Si
P4 - P35	No	Si
P36 - P37	Si	Si

Tabla 7-4. Comparación de la identificación de tramos con problemas de presurización a partir de los resultados generados por el SWMMM y la comprobación de diseño para el sector AAA.

Tramos identificados	¿Se identifican problemas de presurización?	
	SWMM	Hoja de Cálculo
P10 - P39	Si	Si
P39 - P40	No	Si
P15 - P19	Si	Si
P42 - P44	Si	No

Tabla 7-5. Comparación de la identificación de tramos con problemas de presurización a partir de los resultados generados por el SWMMM y la comprobación de diseño para el sector BBB.

Como se observa en las tablas, es posible identificar problemas de presurización tanto por las propiedades hidráulicas estimadas por la hoja de cálculo, como por los resultados entregados por el programa EPA-SWMM. De esta manera se comprueba que los resultados obtenidos por ambos métodos son similares.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La red presenta problemas en varios sectores, en los cuales se superan las restricciones de diseño en cuanto a llenado máximo, por lo cual ante fenómenos de precipitación significativos el sistema se encuentra vulnerable ante condiciones de presurización y eventuales inundaciones.
- Para realizar un análisis detallado, es necesario contar con información del 100% de la red en lo referente a cotas de colectores y pozos.
- Ante fenómenos de alta precipitación se debe proceder al monitoreo constante de la plataforma, para evitar problemas de inundación.
- Se deberá prestar especial atención a los tramos P2-P34, P34-P35, P35-P7, y P36-P37, que drenan al sumidero AAA del proyecto, y a los tramos P10-P39 y P15-P19, que drenan al sumidero BBB, los cuales, debido a su configuración actual, son susceptibles a inundaciones por motivo de presurización de tuberías.
- De acuerdo con Ven Te Chow (1994) para aeropuertos con volúmenes altos de pasajeros, como es el caso del aeropuerto el Dorado, el periodo de retorno debería encontrarse entre 50 y 100 años. Sin embargo, de acuerdo con OPAIN el periodo de retorno es de 10 años.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. CATIE. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
2. Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. (M. E. Suárez, Ed., & J. G. Saldarriaga, Trad.) Bofotá D.C. Colombia: McGraw - HILL.
3. Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (Primera ed.). (M. E. Suárez R, Ed., & J. G. Saldarriaga, Trad.) Bogotá, D.C. Colombia: McGraw HILL.
4. EPA. (2005). *SWMM, modelo de gestión de aguas pluviales*. Grupo Multidisciplinario de modelación de fluidos. US. Environmental Protection Agency .
5. Faustino, J., Jiménez, F., Velásquez, S., Alpízar, F., & Prins, C. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
6. Felicísimo , A. M. (2014). *Universidad de Oviedo - Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales - Modelos Digitales del Terreno*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2017, de <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema1/Page16.html>
7. Gómez Valentin, M. (2007). *Hidrología Urbana*. Barcelona, España.: Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica. Obtenido de <http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/Seminario-de-hidrolog%C3%ADa-urbana.pdf>

8. Gonzalez, B. (2012). *Hisaviación - INSTRUMENTACIÓN METEOROLÓGICA EN AEROPUERTOS*. Recuperado el 12 de 04 de 2017, de <http://www.hispaviacion.es/instrumentacion-meteorologica-en-aeropuertos/>
9. Guetierrez, M., & Ayala, A. (2000). *Hidrología Urbana: Efectos de la Impermeabilización en las Cuencas Urbanas de la Ciudad de Posadas*. Universidad Nacional del Nordeste. Posadas - Misiones - Argentina: Entidad Binacional Yacyretá. Obtenido de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/tecnologicas/t-038.pdf>
10. Hernández Rodríguez, L. (2012). *Una metodología de evaluación del riesgo público por inundación por falla del sistema de alcantarillado pluvial - caso de la cuenca del río Salitre, Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.
11. IDEAM. (2012). *Memoria Técnica - Evaluación, Análisis y Seguimiento a las Afectaciones por inundaciones asociadas el fenómeno de la niña 2010-2011*. Bogotá D.C. : Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
12. IDEAM. (2015.). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-20100 - Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
13. IDEAM. (s.f.). *IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Medición de las precipitaciones*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2017, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap7.pdf>

14. Leopold, L. (1968). *Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use*. Washington, United States: U.S. Geological Survey Circular. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/circ/1968/0554/report.pdf>
15. MADS. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAs/1._Gu%C3%ADa_T%C3%A9cnica_pomcas.pdf
16. Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000*. Bogotá D.C. Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico - Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_d_.pdf
17. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias*. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Bogotá D.C. Colombia: Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf
18. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 del 2017*. Bogotá D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>

19. Ministerio del Interior. (2016). *Plan de Contingencia Fenomeno de la niña DNBC 2016*. Bogotá D.C.: Unidad Administrativa Especial - Dirección Nacional Bomberos Colombia. Obtenido de http://bomberos.mininterior.gov.co/sites/default/files/plan_de_contingenciafenomeno_de_la_nina.pdf
20. OPAIN S.A. (2016). *Diseños de obra de drenaje - Diseño de detalle*. Bogotá D.C. Colombia: Sociedad Operadora Aeroportuaria Internacional - OPAIN S.A.
21. Tucci, C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Porto Alegre, Brasil: Organización Meteorológica Mundial. Obtenido de http://www.apfm.info/pdf/Urban_Flood_Management_Es_low.pdf

10 APENDICES

Apéndice A: Resumen de parámetros para la comprobación de diseño de los tramos con información completa.

TRAMO		ESTRUCTURA	o (Rad)	Profundidad (Y)	Área mojada (A)	Perímetro mojado (P)	Radio hidráulico (R)	Ancho superficial (T)	Profundidad hidráulica (PH)	Rel. Profundidad Hidráulica Vs diámetro/altura	Velocidad	Número de Froude	CAUDAL MANING
			$0 \leq \theta \leq 2\pi$	m	m ²	m	m	m	m		m/s		m ³ /s
1	2	CARCAMO	-	0.4	0.1	1.1	0.1	0.3	-	0.7	1.3	0.6	0.2
2	34	TUBERIA	9.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
34	35	TUBERIA	14.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
35	7	TUBERIA	21.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	18	TUBERIA	4.1	0.4	0.2	1.2	0.2	0.5	0.4	0.7	2.2	1.1	0.5
3	2	CARCAMO	-	0.2	0.0	0.6	0.1	0.3	-	0.3	1.3	1.0	0.1
72	4	CARCAMO	-	0.4	0.1	1.0	0.1	0.3	-	0.5	1.3	0.7	0.1
4	35	TUBERIA	9.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
73	5	CARCAMO	-	0.3	0.1	0.9	0.1	0.3	-	0.4	1.2	0.7	0.1
6	5	CARCAMO	-	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	-	0.1	1.4	2.1	0.0
5	7	TUBERIA	2.8	0.2	0.0	0.5	0.1	0.4	0.1	0.3	3.6	3.4	0.1
8	7	CARCAMO	-	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	-	0.0	1.3	2.9	0.0
45	18	CARCAMO	-	0.2	0.1	0.7	0.1	0.3	-	0.4	0.8	0.6	0.0
36	37	BOX-CULVERT	-	0.9	0.7	2.6	0.3	0.8	-	1.1	1.4	0.5	1.0
37	38	BOX-CULVERT	-	0.7	0.6	2.3	0.3	0.9	-	0.7	1.8	0.7	1.1
24	37	TUBERIA	2.8	0.2	0.1	0.7	0.1	0.5	0.2	0.3	1.4	1.1	0.1

Tabla 10-1. Parámetros calculados en la comprobación de diseño para los tramos de las redes con información completa que drenan hasta el sumidero AAA. Fuente: Cálculos propios.

TRAMO		ESTRUCTURA	θ (Rad)	Profundidad (Y)	Área mojada (A)	Perímetro mojado (P)	Radio hidráulico (R)	Ancho superficial (T)	Profundidad hidráulica (PH)	Rel. Profundidad Hidráulica Vs diámetro/altura	Velocidad	Número de Froude	CAUDAL MANING
			$0 \leq \theta \leq 2\pi$	m	m ²	m	m	m	m		m/s		m ³ /s
11	10	CARCAMO	-	0.4	0.1	1.1	0.1	0.3	-	0.7	1.6	0.8	0.2
10	39	TUBERIA	15.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
39	40	TUBERIA	13.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
40	15	TUBERIA	3.3	0.3	0.1	0.8	0.1	0.5	0.2	0.4	2.7	1.8	0.3
15	19	TUBERIA	9.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	10	CARCAMO	-	0.2	0.0	0.6	0.1	0.3	-	0.3	1.3	1.1	0.1
74	12	CARCAMO	-	0.1	0.0	0.6	0.1	0.3	-	0.2	1.2	1.0	0.1
75	13	CARCAMO	-	0.4	0.1	1.2	0.1	0.3	-	0.5	1.0	0.5	0.1
14	13	CARCAMO	-	0.4	0.1	1.1	0.1	0.3	-	0.7	1.1	0.6	0.1
13	15	TUBERIA	3.6	0.2	0.1	0.6	0.1	0.3	0.2	0.5	4.3	3.2	0.3
16	15	CARCAMO	-	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	-	0.1	0.6	1.0	0.0
77	19	CARCAMO	-	0.2	0.1	0.6	0.1	0.3	-	0.3	0.9	0.7	0.0
42	44	BOX CULVERT	-	0.6	0.6	2.2	0.3	1.0	-	0.85	2.1	0.9	1.3

Tabla 10-2. Parámetros calculados en la comprobación de diseño para los tramos de las redes con información completa que drenan hasta el sumidero BBB. Fuente: Cálculos propios.

Apéndice B: Propiedades de los tramos, parámetros y tiempos de concentración estimados para los segmentos de red.

COMPROBACION DE DISEÑO PLATAFORMA INTERIOR SECTOR AAAA																	
TRAMO	ESTRUCTURA	SECCION		DIAMETRO		LONGITUD	PENDIENTE	AREA PARCIAL	AREA ACUMULADA	CAUDAL METODO RACIONAL		e	n	Y	A	P	R
		Ba	Alt	"	m	m	m/m	Ha	Ha	L/s	m3/s	Rad <2pi (6.2	mani	m	m2	m	m
1 2	CARCAMO	0.3	0.588	-	-	22.04	0.005	0.61	0.610	157.40	0.1574	-	0.013	0.409	0.123	1.117	0.110
2 34	TUBERIA	-	-	12	0.3048	4.74	0.025	0	0.840	216.51	0.2165	9.093	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
34 35	TUBERIA	-	-	16	0.4064	40.08	0.002	0	0.840	210.81	0.2108	14.805	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
35 7	TUBERIA	-	-	20	0.508	28.78	0.001	0	1.414	345.67	0.3457	21.148	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
7 18	TUBERIA	-	-	24	0.610	18.39	0.008	0	2.012	489.92	0.4899	4.067	0.013	0.441	0.226	1.240	0.182
36 37	BOX-CULVERT	0.8	0.8	-	-	63.05	0.002	0	4.378	1024.30	1.0243	-	0.013	0.899	0.719	2.597	0.277
37 38	BOX CULVERT	0.9	1	-	-	29.02	0.003	0	4.767	1107.02	1.1070	-	0.013	0.694	0.624	2.288	0.273
3 2	CARCAMO	0.3	0.594	-	-	25.56	0.008	0.23	0.230	62.80	0.0628	-	0.013	0.163	0.049	0.626	0.078
72 4	CARCAMO	0.3	0.707	-	-	38.72	0.006	0.574	0.574	140.21	0.1402	-	0.013	0.364	0.109	1.028	0.106
4 35	TUBERIA	-	-	14	0.356	5.58	0.003	0	0.574	139.77	0.1398	9.940	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
73 5	CARCAMO	0.3	0.82	-	-	32.86	0.005	0.488	0.488	120.86	0.1209	-	0.013	0.322	0.097	0.945	0.102
6 5	CARCAMO	0.3	0.62	-	-	9.91	0.028	0.084	0.084	21.51	0.0215	-	0.013	0.049	0.015	0.398	0.037
5 7	TUBERIA	-	-	14	0.356	4.42	0.065	0	0.572	146.40	0.1464	2.845	0.013	0.152	0.040	0.506	0.080
8 7	CARCAMO	0.3	0.591	-	-	6.34	0.060	0.026	0.026	7.77	0.0078	-	0.013	0.020	0.006	0.340	0.018
45 18	CARCAMO	0.3	0.512	-	-	36.88	0.003	0.135	0.135	44.98	0.0450	-	0.013	0.190	0.057	0.680	0.084
24 37	TUBERIA	-	-	20	0.508	34.87	0.006	0	0.389	105.34	0.1053	2.775	0.013	0.208	0.078	0.705	0.111

Fuente: Cálculos propios.

						CÁLCULOS TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y CAUDAL MAXIMO							
T	PH	PH/D - Y/H	Velocidad calculada	Fr	CAUDAL MANING	Velocidad propuesta	Tiempo transito	Tiempo de entrada	Tiempo de concentracion	Intensidad	Caudal	Velocidad	error
m	m	m	m/s		m3/s	m/s	min	min	min	mm/h	l/s		%
0.300	-	0.695	1.285	0.642	0.1575	1.29	0.28	10.71	10.99	97.70	157.40	1.28	0.42
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.12	0.04	10.71	11.03	97.59	216.51	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.73	0.92	10.71	11.95	95.03	210.81	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.52	0.92	10.71	12.87	92.56	345.67	N/A	N/A
0.546	0.414	0.680	2.166	1.075	0.4895	2.18	0.14	10.71	13.01	92.20	489.92	2.17	0.66
0.800	-	1.123	1.424	0.480	1.0237	1.42	0.74	10.71	14.46	88.59	1024.30	1.42	0.29
0.900	-	0.694	1.773	0.680	1.1072	1.77	0.27	10.71	14.73	87.94	1107.02	1.77	0.17
0.300	-	0.274	1.274	1.008	0.0622	1.28	0.33	7.85	9.13	103.38	62.80	1.29	0.49
0.300	-	0.515	1.280	0.677	0.1397	1.27	0.51	12.39	12.90	92.49	140.21	1.28	0.75
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.84	0.11	12.90	13.01	92.20	139.77	N/A	N/A
0.300	-	0.393	1.242	0.699	0.1202	1.24	0.44	11.97	12.41	93.78	120.86	1.25	0.20
0.300	-	0.079	1.424	2.058	0.0209	1.41	0.12	11.13	11.25	96.97	21.51	1.47	0.97
0.352	0.115	0.323	3.638	3.430	0.1468	3.65	0.02	11.25	11.27	96.91	146.40	3.63	0.32
0.300	-	0.034	1.282	2.878	0.0078	1.29	0.08	6.25	6.33	113.18	7.77	1.28	0.63
0.300	-	0.371	0.782	0.573	0.0446	0.78	0.79	2.47	3.26	126.16	44.98	0.79	0.29
0.499	0.156	0.307	1.352	1.093	0.1054	1.35	0.43	8.92	9.35	102.67	105.34	1.35	0.16

Tabla 10-3. Propiedades de los tramos, parámetros calculados y tiempos de concentración del sector BBB. Fuente: Cálculos propios.

COMPROBACION DE DISEÑO PLATAFORMA INTERIOR SECTOR BBBB

TRAMO	ESTRUCTURA	SECCION		DIAMETRO		LONGITUD	PENDIENTE	AREA PARCIAL	AREA ACUMULADA	CAUDAL METODO RACIONAL		e	n	Y	A	P	R
		Base	Altura	"	m					L/s	m3/s						
-	-					m	m/m	Ha	Ha			Rad <2pi (6.28)	maning	m	m2	m	m
11 10	CARCAMO	0.3	0.592	-	-	14.62	0.008	0.733	0.733	189.85	0.1898	-	0.013	0.409	0.123	1.119	0.110
10 39	TUBERIA	-		12	0.3048	4.12	0.012	0	0.973	251.67	0.2517	15.055	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
39 40	TUBERIA	-		14	0.3556	12.87	0.007	0	0.973	250.40	0.2504	13.485	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
40 15	TUBERIA	-		20	0.508	38.89	0.018	0	1.193	304.83	0.3048	3.332	0.013	0.278	0.114	0.846	0.134
15 19	TUBERIA	-		20	0.508	18.11	0.011	0	2.311	587.89	0.5879	9.281	0.013	N/A	N/A	N/A	N/A
42 44	BOX CULVERT	1	0.7	-	-	29.48	0.004	0	5.284	1272.72	1.2727	-	0.013	0.595	0.595	2.190	0.272
9 10	CARCAMO	0.3	0.615	-	-	10.76	0.009	0.24	0.24	65.25	0.0653	-	0.013	0.161	0.048	0.622	0.078
74 12	CARCAMO	0.3	0.707	-	-	15.58	0.008	0.22	0.22	55.37	0.0554	-	0.013	0.149	0.045	0.599	0.075
12 40	TUBERIA	-		12	0.3048	4.12	0.006	0	0.22	55.27	0.0553	3.682	0.013	0.193	0.049	0.561	0.087
75 13	CARCAMO	0.3	0.821	-	-	39.27	0.003	0.547	0.547	135.95	0.1360	-	0.013	0.450	0.135	1.200	0.112
14 13	CARCAMO	0.3	0.609	-	-	15	0.004	0	0.547	141.89	0.1419	-	0.013	0.413	0.124	1.126	0.110
13 15	TUBERIA	-		14	0.3556	4.3	0.067	0	1.094	271.78	0.2718	3.592	0.013	0.217	0.064	0.639	0.100
16 15	CARCAMO	0.3	0.611	-	-	6.21	0.006	0.024	0.024	7.23	0.0072	-	0.013	0.040	0.012	0.379	0.031
77 19	CARCAMO	0.3	0.512	-	-	31.84	0.004	0.135	0.135	45.28	0.0453	-	0.013	0.175	0.052	0.649	0.081

						Longitud entrada 88.03 m Pendiente entrada 0.01 m/m							
T	PH	PH/D - Y/H	V	Fr	CAUDAL MANING	Velocidad Propuesta	Tiempo transito	Tiempo de entrada	Tiempo de concentracion	Intensidad	Caudal	Velocidad	error
m	m	m	m/s		m3/s	m/s	min	min	min	mm/h	l/s	m/s	%
0.300	-	0.691	1.550	0.774	0.1904	1.55	0.16	10.71	10.87	98.07	189.85	1.55	0.03
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.5	0.05	10.71	10.91	97.94	251.67	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.25	0.17	10.71	11.08	97.44	250.40	N/A	N/A
0.506	0.225	0.442	2.678	1.805	0.3041	2.66	0.24	10.71	11.33	96.75	304.83	2.68	0.67
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	0.15	10.71	11.48	96.32	587.89	N/A	N/A
1.000	-	0.850	2.140	0.886	1.2732	2.15	0.23	10.71	13.40	91.21	1272.72	2.14	0.45
0.300	-	0.262	1.350	1.074	0.0652	1.36	0.13	9.13	9.26	102.95	65.25	1.35	0.75
0.300	-	0.211	1.238	1.023	0.0555	1.25	0.21	11.64	11.85	95.29	55.37	1.24	0.97
0.294	0.166	0.544	1.127	0.884	0.0549	1.12	0.06	11.64	11.91	95.12	55.27	1.13	0.63
0.300	-	0.548	1.014	0.483	0.1368	1.02	0.64	11.64	12.28	94.11	135.95	1.01	0.59
0.300	-	0.679	1.145	0.569	0.1419	1.15	0.22	10.60	10.82	98.22	141.89	1.14	0.45
0.347	0.184	0.516	4.265	3.178	0.2714	4.25	0.02	10.60	12.30	94.06	271.78	4.27	0.34
0.300	-	0.065	0.605	0.972	0.0072	0.6	0.17	5.92	6.09	114.09	7.23	0.61	0.88
0.300	-	0.341	0.867	0.663	0.0454	0.87	0.61	2.47	3.08	127.00	45.28	0.86	0.35

Tabla 10-4. Propiedades de los tramos, parámetros calculados y tiempos de concentración del sector BBB. Fuente: Cálculos propios.